



# ANALISIS SISTEM PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH (SUTM) 20 KV TERHADAP SAMBARAN PETIR

(Studi Kasus : PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti)

## TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Prodi Teknik Elektro



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

**GERRY AL ARDI**

**11655101143**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIMM RIAU**

**PEKANBARU**

**2021**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## LEMBAR PERSETUJUAN

### ANALISIS SISTEM PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH (SUTM) 20 KV TERHADAP SAMBARAN PETIR

Studi Kasus : PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti)

### TUGAS AKHIR

oleh:

**GERRY AL ARDI**

**11655101143**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 07 Agustus 2021

**Ketua Program Studi**

Digitally  
signed by  
Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2021.08.0  
9 10:52:33  
WIB

**Dr. Zulfatri Aini, ST, MT**  
**NIP. 19721021 200604 2 001**

**Pembimbing**

Digitally  
signed by  
Liliana  
Tanggal:  
2021.08.08  
18:51:12  
WIB

**Dr. Liliana, ST, M.Eng**  
**NIP. 19781012 200312 2 004**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS SISTEM PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH (SUTM) 20 KV TERHADAP SAMBARAN PETIR

(Studi Kasus : PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti)

### TUGAS AKHIR

oleh:

**GERRY AL ARDI**

**11655101143**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

di Pekanbaru, pada tanggal 07 Agustus 2021

Pekanbaru, 07 Agustus 2021

Mengesahkan,

**Ketua Program Studi**

Digitally signed  
by Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2021.08.09  
10:53:31 WIB

**Dr. Zulfatri Aini, S.T, M.T**

**NIP. 19721021 200604 2 001**



Dekan

**Drs. Hartono, B.A.,M.Pd**

**NIP. 19640301 199203 1 003**

### DEWAN PENGUJI:

**Ketua : Arif Marsal, Lc.,M.A**

**Sekretaris : Dr.Liliana, ST, M.Eng**

**Anggota I : Dr. Zulfatri Aini, ST, MT**

**Anggota II : Susi Afriani, ST, MT**

Digitally signed  
by Arif  
Marsal  
Tanggal:  
2021.08.09  
14:16:42 WIB

Digitally signed  
by Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2021.08.09  
10:53:52 WIB

Digitally signed  
by Liliana  
Tanggal:  
2021.08.08  
18:06:00 WIB

Digitally signed  
by Susi Afriani  
Tanggal:  
2021.08.09  
13:46:57 WIB

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
  - a. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
  - b. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,

**GERRY AL ARDI**

**11655101143**

UIN SUSKA RIAU



## LEMBAR PERSEMBAHAN



“Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain dan hanya kepada Robbmulah hendaknya kamu berharap”.

(Q.S Al-Insyirah ayat: 7-8)

*Alhamdulillahirobbil’alamin....*

Terima kasih ku ucapkan kepada mu ya Allah tuhan semesta alam, sujud syukur ku kusembahkan kepada-Mu ya Rabb Tuhan yang Maha Agung nan Maha Tinggi nan Maha Adil nan Maha Penyayang, atas takdir mu telah kau jadikan aku manusia yang senantiasa berfikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan ini. Sebuah usaha dengan pemikiran dan keringat telah ku lalui dengan tantangan dan rintangan hebat sehingga saatnya sekarang usaha itu membuah hasil berupa desain dan karya tulis yang menghantarkan ku menjadi seorang sarjana. Semua ini hamba persembahkan kepada Allah yang telah menurunkan tanda-tanda qauliyah-Nya dari Al-Quran.

*“Bukankah Dia (Allah) yang memperkenankan (do’a) orang yang dalam kesulitan apabila dia berdoa kepada-Nya, dan menghilangkan kesusahan dan menjadikan kamu (manusia) sebagai khalifah (pemimpin) di Bumi? Apakah di samping Allah ada Tuhan (yang lain)? Sedikit sekali (nikmat Allah) yang kamu ingat”.*

(Q.S An-Naml ayat: 62)

Teruntuk....

Kedua orang tuaku tercinta, terima kasih atas kesabaran mu selama ini, terima kasih atas do’a, semangat, motivasi, lidah, dan mulut yang tak pernah lelah menasihati ku walau terkadang nasihat itu sering ku acuhkan. Maafkan atas segala hal kecil dan besar yang pernah ananda lakukan sehingga membuat hati Ayah dan Ibu terluka. Terimalah karya kecil ini buah dari hasil pendidikan yang ananda jalani selama masa perkuliahan, sebagai bentuk rasa terima kasihku walau kasih dan sayang mu tak akan pernah bisa tergantikan semoga pahala dan rezeki selalu dilimpahkan oleh Allah SWT kepada Ayah dan Ibu.

*“Jangan pernah takut, ragu, malas untuk melakukan sesuatu hal yang benar, karena sesuatu hal yang didasari dengan niat baik maka akan menghasilkan sesuatu yang baik pula. Jangan berputus asa dan lari dari setiap masalah yang datang hadapilah dengan segenap kekuatan yang ada dan iringi setiap perjuangan dengan do’a niscaya Allah memberikan jalan yang terbaik”*



# ANALISIS SISTEM PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH (SUTM) 20 KV TERHADAP SAMBARAN PETIR

(Studi Kasus : PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti)

**GERRY AL ARDI**

**NIM: 11655101143**

Tanggal Sidang: 06 Agustus 2021

Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

## ABSTRAK

Petir adalah suatu fenomena alam yang disebabkan karena adanya muatan elektrik di atmosfer yang memiliki arus sangat besar dan waktu yang sangat singkat, sehingga menimbulkan kerusakan yang fatal terutama pada peralatan listrik di udara terbuka. Tujuan penelitian ini adalah analisis gangguan akibat sambaran petir menggunakan kawat tanah, analisis gangguan akibat sambaran petir terhadap *lightning arrester*, analisis sudut lindung kawat tanah menggunakan metode *Rolling Sphere*, analisis penempatan *lightning arrester* menggunakan metode Pengali *Lagrange*. Metode *Rolling Sphere* difungsikan seakan-akan terdapat bola pada radius  $R$  yang menggelinding di atas tanah, sekitar bangunan serta di atas bangunan ke seluruh arah sampai bertemu dengan tanah bangunan yang memiliki kontak dengan permukaan bumi yang dapat bekerja selaku penghantar. Metode Pengali *Lagrange* memakai suatu metode dalam menuntaskan optimasi dengan kendala persamaan, inti dari metode Pengali *Lagrange* merupakan mengganti permasalahan titik ekstrim terkendala jadi permasalahan ekstrim bebas kendala. Hasil perhitungan sudut lindung kawat tanah menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan variasi jarak sambar 200 m  $\varphi = 70.05^\circ$ , 300 m  $\varphi = 73.73^\circ$ , 400 m  $\varphi = 75.93^\circ$ . Hasil perhitungan penempatan *lightning arrester* menggunakan metode Pengali *Lagrange* di dapatkan nilai jarak  $S = 5.7$  meter.

**Kata kunci :** Petir, SUTM 20 kV , Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*), *Lightning Arrester*





# ANALYSIS OF MEDIUM VOLTAGE AIR LINE PROTECTION SYSTEM (MVAL) 20 KV AGAINST LIGHTNING STRIKES

(Case Study : PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti)

**GERRY AL ARDI**

**Student Number: 11655101143**

*Date of Final Exam: on, 06 August 2021*

*Department of Electrical Engineering  
Faculty of Science and Technology  
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau  
Soebrantas Street, Number.155 Pekanbaru*

## **ABSTRACK**

*Lightning is a natural phenomenon caused by an electric charge in the atmosphere which has a very large current and a very short time, causing fatal damage, especially to electrical equipment in the open air. The purpose of this study is analysis of disturbances due to lightning strikes using ground steel wire, analysis of disturbances due to lightning strikes against lightning arresters, analysis of ground wire protection angles using the Rolling Sphere method, analysis of lightning arrester placement using the Lagrange Multiplier method. The Rolling Sphere method functions as if there is a ball at radius R that rolls on the ground, around the building and on top of the building in all directions until it meets the building ground that has contact with the earth's surface which can work as a conductor. The Lagrange multiplier method uses a method to solve optimization with equation constraints, the essence of the Lagrange multiplier method is to replace the constrained extreme point problem into a constraint-free extreme problem. The results of the calculation of the ground steel wire protection angle using the Rolling Sphere method with variations in the striking distance of 200 m  $\phi = 70.05^\circ$ , 300 m  $\phi = 73.73^\circ$ , 400 m  $\phi = 75.93^\circ$ . The results of the calculation of the placement of lightning arresters using the Lagrange Multiplier method get a distance value of  $S = 5.7$  meters.*

**Keyword : Lightning, SUTM 20 kV, Ground Steel Wire, Lightning Arrester**





## KATA PENGANTAR



*Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.*

*Alhamdulillah Rabbil Alamin*, Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT, berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Sistem Proteksi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV Terhadap Sambaran Petir**” (Studi Kasus : PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti). Shalawat beriringan salam penulis hadiahkan kepada junjungan alam Nabi Muhammad SAW yang merupakan suri tauladan bagi kita semua, semoga kita semua termasuk dalam umatnya yang kelak mendapatkan syafa'at beliau.

Banyak sekali yang telah penulis peroleh berupa ilmu pengetahuan dan pengalaman selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Elektro. Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat berguna bagi semua pihak yang memerlukannya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus nya kepada pihak-pihak yang terkait berikut:

1. Papa, Mama, Gani, Gifa dan keluarga yang telah mendo'akan serta memberikan dukungan dan motivasi agar penulis selalu sabar dan tawakal dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Khairunnas Rajab, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Drs. Hartono, B.A., M.Pd, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini, ST, MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Bapak Sutoyo, S.T, M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal S.T, M.T, selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan syarif Kasim Riau.



7. Bapak Arif Marsal, Lc.,M.A selaku Ketua Sidang Tugas Akhir yang telah menguji *basic* keislaman serta memberikan masukan dan nasehat terhadap diri saya.
8. Ibu Dr.Liliana, ST, M.Eng selaku Dosen pembimbing Tugas Akhir sekaligus pembimbing akademik yang senantiasa telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing serta selalu membantu memberikan inspirasi, motivasi, dan kesabaran memberikan arahan maupun kritikan kepada penulis baik dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini maupun dalam proses pendidikan Strata 1 (S1) penulis.
9. Ibu Dr.Zulfatri Aini ST. MT selaku Dosen penguji I yang telah memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.
10. Ibu Susi Afriani ST. MT selaku Dosen penguji II yang telah memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.
11. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan ilmu dan motivasi yang sangat bermanfaat.
12. Pimpinan, staff, dan karyawan Program Studi Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
13. Bapak Irfan selaku Supervisor PT. PLN (Persero) Area Payakumbuh dan Bapak Wanda serta Ibu Feby selaku pegawai PT. PLN (Persero) Area Payakumbuh yang telah memberikan ilmu pengetahuannya.
14. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATE) yang telah memberikan wawasan serta pengalaman organisasi yang sangat berarti bagi perkembangan diri saya selama menjadi mahasiswa.
15. Rekan-rekan seperjuangan (Raja Riski Eka Putra ST, Hanif Naufal Qasthari ST, Riko Kurniawan, Rahmad Affandi ST, Fadel Muhammad, Yogi Vernando, Ahmad Iqbal ST, Taufik Hidayat ST, Yahya Khoironi, Dwiki Imanusa) yang telah memberikan dukungan semangat dan motivasi selama penulis menempuh perkuliahan.
16. Rekan-rekan Angkatan 2016 dan Konsentrasi Energi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
17. Rekan-rekan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik di masa yang akan datang.





Harapan penulis, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca di masa mendatang. Amin.

*Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.*

Pekanbaru, 06 Agustus 2021

Gerry Al Ardi



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR ISI

<b>ANALISIS SISTEM PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH (SUTM) 20 KV TERHADAP SAMBARAN PETIR .....</b>	<b>1</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ANALISIS SISTEM PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH (SUTM) 20 KV TERHADAP SAMBARAN PETIR .....</b>	<b>vi</b>
<b>ANALYSIS OF MEDIUM VOLTAGE AIR LINE PROTECTION SYSTEM (MVAL) 20 KV AGAINST LIGHTNING STRIKES .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR RUMUS.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah .....	I-8
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-8
1.4 Batasan Masalah .....	I-9
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Proses Terjadinya Sambaran Petir .....	II-4





2.2.2 Gelombang Impuls Petir.....	II-5
2.2.3 Gangguan Petir Sambaran Langsung .....	II-6
2.2.4 Gangguan Petir Sambaran Tidak Langsung .....	II-6
2.3 Sistem Tenaga Listrik.....	II-7
2.4 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM).....	II-7
2.5 Komponen Utama Kontruksi SUTM.....	II-8
2.5.1 Penghantar .....	II-8
2.5.2 Isolator.....	II-9
2.5.3 Peralatan Hubung ( <i>Switching</i> ).....	II-10
2.5.4 Tiang.....	II-10
2.6 Proteksi Pada Jaringan Distribusi Saluran Udara 20 kV .....	II-10
2.6.2 Peralatan Pemisah atau Penghubung .....	II-11
2.6.3 Pemutus Tenaga.....	II-11
2.6.4 Saklar Pemisah .....	II-11
2.6.5 Saklar Pemisah Beban .....	II-11
2.6.6 Saklar Seksi Otomatis.....	II-11
2.6.7 Peralatan Pengaman Arus Lebih .....	II-12
2.6.8 Pelebur ( <i>Fuse Cut Out</i> ).....	II-12
2.6.9 Pemutus Balik Otomatis ( <i>Automatic Recloser</i> ).....	II-12
2.6.10 Relai.....	II-12
2.7 Kawat Tanah ( <i>Ground Steel Wire</i> ) .....	II-13
2.7.1 Efektifitas Perlindungan Kawat Tanah.....	II-13
2.7.2 Penangkapan Kilat Oleh Saluran, Jumlah Sambaran dan Probabilitas Arus... ..	II-14
2.8 Tegangan Pada Saluran Akibat Sambaran Tidak Langsung .....	II-15
2.8.1 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Tidak Langsung Pada SUTM Tanpa Kawat Tanah .....	II-15



## 2.8.2 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Tidak Langsung Pada SUTM

Menggunakan Kawat Tanah ..... II-16

## 2.9 Tegangan Pada Saluran Akibat Sambaran Langsung..... II-18

2.9.1 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Langsung Pada SUTM Tanpa Kawat Tanah ..... II-18

2.10 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Langsung Pada SUTM Menggunakan Kawat Tanah..... II-19

2.11 Sudut Lindung Kawat Tanah Menggunakan Metode *Rolling Sphere* ..... II-19

2.12 *Lightning Arrester* ..... II-20

2.12.1 Karakteristik *Arrester* ..... II-21

2.12.2 Jenis *Arrester*..... II-22

2.12.3 Data Pengenal *Arrester*..... II-23

2.12.4 Tingkat Isolasi Dasar (TID)..... II-23

2.12.5 Penentuan Tingkat Isolasi Dasar (TID) ..... II-24

2.12.6 Tegangan Pengenal *Lightning Arrester* ..... II-24

2.12.7 Menentukan Arus Pelepasan *Arrester* ..... II-25

2.12.8 Menentukan Tegangan Pelepasan *Arrester* ..... II-25

2.12.9 Faktor Perlindungan *Arrester* ..... II-25

2.12.10 Penempatan *Lightning Arrester* Menggunakan Metode Pengali *Lagrange* II-26

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian ..... III-1

3.2 Prosedur Penelitian ..... III-1

3.3 Lokasi Penelitian ..... III-3

3.4 Tahap Perencanaan ..... III-3

3.5 Pengumpulan Data..... III-4

3.5.1 Data *Single Line Diagram* ..... III-4

3.5.2 Data Gangguan Petir..... III-5





Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.5.3 Data Panjang Saluran .....	III-6
3.5.4 Spesifikasi Tiang SUTM 20 kV .....	III-7
3.5.5 Spesifikasi Transformator .....	III-7
3.5.6 Spesifikasi Kawat Tanah ( <i>Ground Steel Wire</i> ) .....	III-7
3.5.7 Spesifikasi <i>Lightning Arrester</i> .....	III-8
3.6 Perhitungan dan Analisis Sudut Lindung Kawat Tanah ( <i>Ground Steel Wire</i> ).....	III-8
3.6.1 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Tidak Langsung Pada SUTM Tanpa Kawat Tanah .....	III-8
3.6.2 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Tidak Langsung Pada SUTM Menggunakan Kawat Tanah .....	III-9
3.6.3 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Langsung Pada SUTM Tanpa Kawat Tanah .....	III-9
3.6.4 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Langsung Pada SUTM Menggunakan Kawat Tanah .....	III-10
3.6.5 Menentukan Sudut Lindung Kawat Tanah Menggunakan Metode <i>Rolling Sphere</i> .....	III-10
3.7 Perhitungan dan Analisis Penempatan Optimum <i>Lightning Arrester</i> .....	III-11
3.8 Jadwal Penelitian .....	III-11
3.9 Kesimpulan dan Saran .....	III-11

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian.....	IV-1
4.1.1 Perhitungan Gangguan Kilat Sambaran Petir Tidak Langsung Pada SUTM 20 kV Tanpa Kawat Tanah .....	IV-1
4.1.2 Perhitungan Gangguan Kilat Akibat Sambaran Tidak Langsung Pada SUTM 20 kV Menggunakan Kawat Tanah .....	IV-3
4.1.3 Perhitungan Gangguan Kilat Akibat Sambaran Langsung Pada SUTM 20 kV Tanpa Kawat Tanah .....	IV-6



4.1.4 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Langsung Pada SUTM 20 kV	
Menggunakan Kawat Tanah .....	IV-8
4.1.5 Penentuan Tingkat Isolasi Dasar (TID) .....	IV-10
4.1.6 Tegangan Pengenal <i>Lightning Arrester</i> .....	IV-10
4.1.7 Menentukan Arus Pelepasan Impuls <i>Arrester</i> .....	IV-10
4.1.8 Menentukan Tegangan Pelepasan <i>Arrester</i> .....	IV-11
4.1.9 Faktor Perlindungan <i>Arrester</i> .....	IV-11
4.1.10 Menentukan Sudut Lindung Kawat Tanah Menggunakan Metode <i>Rolling Sphere</i> .....	IV-13
4.1.11 Penempatan <i>Lightning Arrester</i> Menggunakan Metode Pengali <i>Lagrange</i> .....	IV-14

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	V-1
5.2 Saran .....	V-1

## DAFTAR PUSTAKA

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Terjadinya Petir .....	II-5
Gambar 2.2 Gelombang Impuls Petir .....	II-6
Gambar 2.3 Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.....	II-7
Gambar 2.4 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) .....	II-8
Gambar 2.5 Penghantar Berisolasi Penuh ( <i>Three single core</i> ).....	II-9
Gambar 2.6 Jenis-jenis Isolator Tumpu.....	II-9
Gambar 2.7 Jenis-jenis Isolator Tarik .....	II-10
Gambar 2.8 Contoh letak pemasangan FCO dan LBS .....	II-10
Gambar 2.9 Daerah Proteksi Menggunakan Sistem Kawat Tanah .....	II-13
Gambar 2.10 Lebar bayang-bayang listrik saluran udara terhadap sambaran kilat.....	II-15
Gambar 2.11 Zona Proteksi Metode <i>Rolling Sphere</i> .....	II-21
Gambar 2.12 Karakteristik Tegangan Gagal Sel <i>Arrester</i> .....	II-22
Gambar 2.13 Pengaruh <i>Arrester</i> Terhadap Surja Tegangan.....	II-22
Gambar 2.14 <i>Arrester</i> jenis eksplusi .....	II-23
Gambar 2.15 <i>Arrester</i> jenis katup .....	II-23
Gambar 2.16 TID (BIL Peralatan Sistem Yang Ditanahkan).....	II-24
Gambar 3.1 Alur Tahapan Penelitian .....	III-2
Gambar 3.2 <i>Single Line Diagram</i> Area Payakumbuh .....	III-4
Gambar 3.3 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Muaro Paiti.....	III-5
Gambar 3.4 Peta Jumlah Sambaran Petir .....	III-6



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data monitoring gangguan SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti .....	III-5
Tabel 3.2 Data Panjang saluran, beban, jenis konduktor / kabel penyulang Muaro Paiti .....	III-6
Tabel 3.3 Spesifikasi tiang beton bulat untuk SUTM 20 kV .....	III-7
Tabel 3.4 Data spesifikasi transformator SUTM 20 kV .....	III-7
Tabel 3.5 Spesifikasi kawat tanah .....	III-7
Tabel 3.6 Karakteristik lightning arrester .....	III-8
Tabel 4.1 Jumlah gangguan sambaran tidak langsung pada SUTM 20 Kv sebelum menggunakan kawat tanah ( <i>ground steel wire</i> ) .....	IV-2
Tabel 4.2 Jumlah gangguan akibat sambaran tidak langsung pada SUTM 20 Kv menggunakan kawat tanah ( <i>ground steel wire</i> ) .....	IV-4
Tabel 4.3 Jumlah gangguan akibat sambaran langsung pada SUTM 20 kV tanpa gsw ...	IV-6
Tabel 4.4 Jumlah gangguan akibat sambaran langsung pada SUTM 20 kV menggunakan kawat tanah ( <i>ground steel wire</i> ) .....	IV-7
Tabel 4.5 Jumlah perhitungan <i>lightning arrester</i> terhadap gangguan sambaran petir pada transformator distribusi .....	IV-10
Tabel 4.6 Sudut lindung optimal kawat tanah ( <i>ground steel wire</i> ) .....	IV-11



## DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Lebar Bayang – bayang (W) .....	II-14
Rumus 2.2 Tegangan Puncak Induksi Petir Tanpa Kawat Tanah .....	II-15
Rumus 2.3 Probabilitas Arus Gangguan Sambaran Induksi Tanpa Kawat Tanah .....	II-16
Rumus 2.4 Jumlah Lompatan Api Tanpa Kawat Tanah.....	II-16
Rumus 2.5 Gangguan Petir Akibat Sambaran Tidak Langsung Tanpa Kawat Tanah ....	II-16
Rumus 2.6 Tegangan Puncak Induksi Petir Menggunakan Kawat Tanah .....	II-16
Rumus 2.7 Probabilitas Arus Gangguan Sambaran Induksi Menggunakan GSW.....	II-17
Rumus 2.8 Faktor Perisaian.....	II-17
Rumus 2.9 Jumlah Lompatan Api Menggunakan Kawat Tanah.....	II-17
Rumus 2.10 Gangguan Petir Akibat Sambaran Induksi Menggunakan Kawat Tanah....	II-18
Rumus 2.11 Besar Arus Kilat Sambaran Langsung Tanpa Kawat Tanah.....	II-18
Rumus 2.12 Besar Tegangan Akibat Sambaran Langsung Tanpa Kawat Tanah.....	II-18
Rumus 2.13 Probabilitas Lompatan Api Akibat Sambaran Langsung Tanpa GSW .....	II-18
Rumus 2.14 Jumlah Sambaran Kilat Pada Saluran Tanpa Kawat Tanah.....	II-18
Rumus 2.15 Jumlah Lompatan Api Akibat Sambaran Langsung Tanpa Kawat Tanah .	II-19
Rumus 2.16 Gangguan Petir Akibat Sambaran Langsung Tanpa Kawat Tanah.....	II-19
Rumus 2.17 Impedansi Surja Tiang Menggunakan Kawat Tanah .....	II-19
Rumus 2.18 Impedansi Surja Kawat Tanah .....	II-19
Rumus 2.19 Tegangan Puncak Pada Tiang .....	II-19
Rumus 2.20 Besar Arus Minimum.....	II-19
Rumus 2.21 Probabilitas Lompatan Api.....	II-19
Rumus 2.22 Jumlah Sambaran Kilat Pada Saluran .....	II-19
Rumus 2.23 Jumlah Sambaran Kilat Langsung Pada Kawat Tanah .....	II-19
Rumus 2.24 Sudut Lindung Kawat Tanah .....	II-20
Rumus 2.25 Penentuan Tingkat Isolasi Dasar (TID).....	II-24





Rumus 2.26 Tegangan Pengenal <i>Lightning Arrester</i> .....	II-24
Rumus 2.27 Menentukan Arus Pelepasan <i>Arrester</i> .....	II-25
Rumus 2.28 Faktor Perlindungan <i>Arrester</i> .....	II-25
Rumus 2.29 Jarak Optimum <i>Arrester</i> .....	II-26





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Listrik ialah kebutuhan yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan masyarakat di masa globalisasi ini. Pemakaian tenaga listrik terus menjadi bertambah bersamaan dengan bertambahnya kebutuhan konsumen, bersumber pada informasi Badan Pusat Statistik (BPS) periode 2019 jumlah pelanggan Perusahaan Listrik Negeri (PLN) di Indonesia merupakan 72.015.691 pelanggan [1]. Masyarakat memakai tenaga listrik mulai dari mengisi ulang baterai ponsel, menyetrika, menyaksikan tv, cuci, serta memasak. Untuk golongan non rumah tangga semacam industri serta pelaksana usaha, listrik telah jadi kebutuhan vital demi kelancaran usaha mereka [2].

PT. PLN (Persero) selaku penyedia tenaga listrik di Indonesia ialah perusahaan yang bergerak dibidang tenaga kelistrikan, serta senantiasa berupaya membagikan pelayanan yang baik supaya konsumen merasa terkucupi dalam kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Bersumber pada Undang-Undang Nomor. 30 tahun 2009 perihal sistem tenaga listrik pasal 28 disebutkan perusahaan kelistrikan yang menyediakan tenaga listrik harus penuhi standar kualitas serta keandalan kelistrikan yang bermutu, membagikan mutu layanan yang baik kepada konsumen serta masyarakat, penuhi syarat keselamatan ketenagalistrikan, serta mengutamakan produk dan kemampuan dalam negara [3].

Secara universal sistem tenaga listrik terdapat beberapa sistem di dalamnya seperti sistem pembangkit, transmisi serta distribusi. Pusat pembangkitan listrik terdiri dari berbagai jenis seperti PLTU, PLTA, PLTG, PLTD serta lainnya, tenaga listrik yang dibangkitkan setelah itu akan melewati penyaluran sistem distribusi listrik dari pembangkit menuju beban. Jaringan distribusi ada dua jenis, ialah jaringan distribusi primer serta jaringan distribusi sekunder. Sehabis melewati saluran transmisi kemudian tenaga listrik menuju Gardu Induk (GI), pada gardu induk kemudian tegangan diturunkan dengan trafo penurun tegangan (*step down transformer*) 20 kV serta 6 kV pada tegangan distribusi primer. Sehabis melalui saluran distribusi primer listrik kemudian diturunkan tegangan oleh trafo distribusi jadi tegangan rendah dengan tegangan 380 atau 220 Volt ataupun 220 atau 127 Volt selaku Jaringan Tegangan



Rendah (JTR) serta setelah itu di salurkan kepada konsumen dengan Sambungan Rumah (SR) [4].

Sistem penyaluran distribusi tenaga listrik berperan dalam pendistribusian listrik dari GI menuju beban diawali pada tingkatan tegangan menengah serta rendah. Pada Sistem penyaluran distribusi terdapat beberapa komponen seperti jaringan subtransmisi, GI distribusi, penyulang utama (*primary feeder*), trafo distribusi, jaringan sekunder serta sambungan pelayanan, pentanahan. Dalam penyaluran tenaga listrik ke konsumen, tenaga listrik ini wajib bermutu dari segi teknis ataupun ekonomis. Dari segi teknis yang jadi parameter kebaikan tenaga listrik merupakan tegangan, frekuensi serta keandalan [4] [5].

Jaringan distribusi yang andal berperan besar dalam mencukupi kebutuhan penyaluran listrik. Oleh karena itu, penyaluran tenaga listrik ke konsumen tidak boleh terputus. Ketidakandalan jaringan distribusi akan mengakibatkan kerugian sangat besar pada konsumen dan PT. PLN (persero) itu sendiri. Permasalahan utama yang dihadapi saat ini adalah gangguan sistem distribusi baik secara eksternal maupun internal. Gangguan eksternal adalah berasal dari luar sistem seperti sambaran petir, keadaan alam, sedangkan gangguan dari dalam sistem (internal) misalnya *swiching surges* atau surja hubung [5].

Wilayah Indonesia memiliki tingkatan kerapatan petir yang besar serta curah hujan yang tinggi menimbulkan terjadinya banyak gangguan akibat sambaran petir. Indonesia ialah negeri yang berada di wilayah khatulistiwa yang panas serta lembab. Kedua aspek ini sangat berarti dalam pembuatan awan cumulonimbus yang dapat menghasilkan petir [6]. Berdasarkan buku *Guinness of Record* Indonesia ialah daerah dengan hari guruh tahunan paling tinggi di dunia berkisar 180-260 hari guruh per tahun dengan kerapatan sembaran petir ke tanah (Ng) menggapai 30 sambaran per km<sup>2</sup> per tahun [7]. Oleh karena itu jaringan tenaga listrik sangat rawan terserang sambaran petir. Sambaran petir ini bisa menyebabkan gangguan pada sistem distribusi dalam menyalurkan tenaga listrik dari GI pusat beban kepada konsumen [5].

Petir ialah peristiwa alam dimana berlangsungnya lompatan muatan listrik di antara awan dan bumi. Terjadinya lompatan muatan listrik dimulai terkumpulnya uap di awan, dalam ketinggian tertentu uap ini bertransformasi sebagai kristal-kristal es. Sebab pada awan ada angin menuju seluruh arah, hingga kristal-kristal es itu sama-sama bertabrakan serta saling gesek sehingga mengakibatkan terpisahnya antara muatan positif serta muatan negatif [6]. Sangat memungkinkan bahwa saluran distribusi yang berada disekitar perbukitan atau daerah





pegunungan rawan terhadap sambaran petir. Selain daerah pegunungan, bahaya petir juga terjadi di daerah persawahan dan daerah terbuka [8].

Surja petir merupakan indikasi tegangan lebih transien yang memiliki amplitudo yang tinggi serta berlangsung dengan singkat. Tegangan lebih tersebut bisa mengganggu komponen isolasi dan peralatan pada sistem tenaga listrik, bila besarnya tegangan melampaui *Basic Insulation Level* (BIL) peralatan. Gangguan sambaran petir banyak berlangsung pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), sambaran petir bisa berbentuk sambaran langsung serta sambaran tidak langsung [9]. Sambaran langsung ialah sambaran yang menuju ke konduktor fasa serta tiang. Sambaran tidak langsung merupakan kejadian sambaran yang berlangsung di sekitar sistem tenaga [10].

Pengaruh sambaran petir terhadap jaringan SUTM lebih banyak di akibatkan dari sambaran tidak langsung. Kondisi tersebut di akibatkan SUTM tidak terlalu tinggi di atas tanah, sehingga menyebabkan efek sambaran langsung relatif kecil. Setelah itu tingkatan ketahanan impuls isolasi ( $V_{50\%}$ ) dari isolator SUTM relatif kecil apabila dibanding dengan SUTT [11]. Tetapi dalam hal ini tidak menutup kemungkinan sambaran langsung dari petir juga dapat mengenai SUTM.

Bahaya akibat sambaran petir terjadi ketika kilat yang menyambar saluran, yang diakibatkan sambaran langsung maupun tidak langsung akan menimbulkan surja tegangan dan surja arus pada kawat fasa. Hal ini dapat menyebabkan pemutusan sementara (*momentary*) dan pemutusan secara permanen (*permanent*). Sambaran petir juga dapat menyebabkan terjadinya *flashover* pada isolator. Kejadian *flashover* berlangsung apabila tegangan terhadap isolator saluran tinggi ataupun sama dengan tegangan kritis lompatan api (*critical flashover*) menyebabkan lompatan api berlangsung terhadap isolator tersebut [12].

Dalam meminimalisir dari gangguan petir sambaran langsung ataupun sambaran tidak langsung tersebut pada jaringan SUTM ditempatkan kawat tanah [13]. Kawat tanah (*Ground Steel Wire*) ialah kawat pada saluran yang ditempatkan di atas kawat fasa sebagai proteksi yang diakibatkan oleh sambaran induksi petir dekat saluran. Bila berlangsungnya sambaran petir pada SUTM, kawat tanah tersebut menyalurkan arus surja petir ke tanah sehingga SUTM aman terhadap gangguan. Kawat tanah sebaiknya mempunyai tahanan kontak yang kecil tetapi ketahanan impuls isolasinya besar [14].



Selain kawat tanah yang dapat melindungi peralatan SUTM 20 kV dari sambaran petir, alat pelindung yang dapat digunakan adalah *Lightning Arrester*. *Lightning Arrester* ialah alat pelindung instalasi terhadap gangguan *overvoltage* yang diakibatkan oleh sambaran petir ataupun oleh surja hubung. *Arrester* bersifat sebagai jalan pintas dekat isolasi yang membentuk jalur sehingga gampang dilewati arus kilat sistem pentanahan sehingga memunculkan tegangan lebih yang besar serta tidak mengganggu isolasi komponen listrik. Jalan pintas ini mesti di atur dengan baik sehingga tidak mengganggu penyaluran tenaga listrik kepada konsumen [8].

Menurut sumber penelitian sistem proteksi terhadap gangguan akibat sambaran petir terhadap jaringan sistem tenaga listrik, penelitian menganalisis tingkat efektivitas kawat tanah guna mengamankan kawat SUTM 20kV GI Boom Baru Palembang. Hasil hitungan serta analisis nilai aspek perisaian kawat tanah GI Boom Baru telah cukup baik, karna dapat meminimalisir jumlah gangguan petir induksi sebesar 35,50 gangguan per 100 kilometer per tahun [14].

Dalam penelitian yang menganalisis daerah lindung serta *grounding* pada menara transmisi akibat terbentuknya *back flashover* dari sambaran langsung. Membahas keadaan *grounding* pada menara Nomor. 62 SUTT 70 kV transmisi Tomohon-Teling berakibat berlangsungnya *back flashover*, karna nilai resistan pengukuran pentanahan yaitu  $7,1 \Omega$  mempunyai perbandingan melebihi nilai standar resistan pentanahan  $\leq 5 \Omega$  dari nilai standar yang ditetapkan. Kemudian mendapatkan daerah lindung optimal kawat tanah dengan memberikan variasi jarak sambaran petir 500 m, 600 m, 700 m, 800 m dan 900 m. Penelitian ini menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan perhitungan daerah lindung kawat tanah menggunakan persamaan Hasse dan Wiesinger [12].

Adapun penelitian perlindungan transformator daya 60 MVA pada GI Teluk Betung supaya transformator daya ini dapat terlindungi oleh tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir dengan menggunakan *Lightning Arrester*. Spesifikasi *arrester* yang dipasang pada sisi HV transformator daya unit 1 GI Teluk Betung dengan tegangan nominal 144 kV, sudah cocok dengan keperluan sistem. Jarak maksimal antara *arrester* serta transformator daya yang di izinkan merupakan 28,5 m. Jarak di lapangan merupakan 3 m, tegangan yang datang pada transformator daya merupakan 480 kV serta masih di bawah nilai tingkatan isolasi dasar trafo, oleh karna itu proteksi transformator daya terhadap sambaran petir sudah bagus [10].



Pada penelitian sistem proteksi terhadap gangguan yang diakibatkan sambaran petir pada jaringan sistem tenaga listrik menggunakan *arrester* sebagai pengaman utama terhadap sambaran petir pada jaringan transmisi Gardu Induk 150 kV Siantan. Dari penelitian ini didapatkan hasil analisis dan perhitungan nilai jarak optimal *arrester* terhadap transformator (S) pada 150 kV GI Siantan dengan menggunakan Metode Pengali *Lagrange* ialah 34.784 m, kemudian pengenalan / rating *arrester* yang digunakan adalah tegangan pengenalan *arrester* (UC) = 134,64 kV, tegangan kerja *arrester* (Ea) = 414,333 kV, operasi arus *arrester* (He) = 5,504 kA [15].

Wilayah Indonesia yang mempunyai tingkat curah hujan yang tinggi serta rawan terhadap sambaran petir salah satunya adalah provinsi Sumatera Barat. Secara geografis, Provinsi Sumatera Barat ada pada garis 00 54' lintang Utara hingga 30 30' lintang Selatan dan 980 36' hingga 1010 53' Bujur Timur total luas daerah kurang lebih 42.297, 30  $km^2$  ataupun 4.229.730 Ha terdapat  $\pm$  391 pulau besar serta kecil disekitarnya [16]. Sumatera Barat ialah wilayah Indonesia yang mempunyai pola cuaca yang unik, tercipta dari terdapatnya interaksi antara sistem putaran atmosfer yang bergerak di atas dengan keadaan topo fisiografi daerah ini yang sedemikian rupa, mengakibatkan daerah pada posisi dilereng pegunungan yang mengarah ke barat (wilayah tangkap hujan) hendak mendapatkan curah hujan yang cukup besar, sedangkan tempat pada posisi bukit (wilayah bayang hujan), mendapatkan curah hujan yang kecil [17]. Berdasarkan data BMKG pada peta sambaran petir periode 2020 wilayah sumatera barat memiliki 450.000-600.000 jumlah sambaran petir *cloud to ground* [18].

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) periode 2019 tenaga listrik yang dibangkitkan provinsi Sumatera Barat adalah 2946,30 GWh, kemudian listrik yang didistribusikan adalah 3445,08 GWh [1]. Sumatera Barat memiliki 4 Area dan 30 Rayon dalam menyalurkan tenaga listrik, area tersebut terdiri dari Area Padang yang memiliki 10 rayon yaitu Rayon Belanti, Rayon Tabing, Rayon Indarung, Rayon Kuranji, Rayon Painan, Rayon Pariaman, Rayon Sicincin, Rayon Lubuk Alung, Rayon Balai Selasa, Rayon Tua Pejat. Area Bukittinggi memiliki 7 Rayon yaitu Rayon Bukittinggi, Rayon Padang Panjang, Rayon Koto Tuo, Rayon Lubuk Basung, Rayon Lubuk Sikaping, Rayon Baso, Rayon Simpang Empat. Area Solok memiliki 9 Rayon yang terdiri dari Rayon Solok, Rayon Kayu Aro, Rayon Silungkang, Rayon Muaro Labuh, Rayon Singkarak, Rayon Sawah Lunto, Rayon Sijunjung, Rayon Sitiung,





Rayon Sungai Rumbai. Area Payakumbuh memiliki 4 Rayon yang terdiri dari Rayon Payakumbuh, Rayon Lima Puluh Kota, Rayon Batu Sangkar, Rayon Lintau [19].

Dari sekian banyak Rayon yang ada di Sumatera Barat penulis mengambil penelitian di Area Payakumbuh yang memiliki 4 Rayon yang terdiri dari 42 Penyulang. Rayon Payakumbuh terdiri dari 17 penyulang, Rayon Lima Puluh Kota 12 penyulang, Rayon Batu Sangkar 9 penyulang dan Rayon Lintau 5 penyulang. Dari 4 Rayon yang ada di Area Payakumbuh peneliti mengambil studi kasus pada Rayon Lima Puluh Kota yang memiliki 12 penyulang [20]. Berdasarkan data dari PT. PLN (Persero) Area Payakumbuh Rayon Lima Puluh Kota dari 12 penyulang yang ada peneliti memilih penyulang Muaro Paiti yang merupakan penyulang dengan panjang 65 Kms. Pada penyulang Muaro Paiti gangguan yang sering terjadi disebabkan karena sambaran petir, pohon tumbang yang mengenai SUTM 20 kV, kerusakan komponen SUTM 20 kV dan beberapa gangguan yang tidak ditemukan. Pada tahun 2020 dari beberapa gangguan yang ada, gangguan akibat sambaran petir menjadi gangguan yang dominan dengan total 156 gangguan [21].

Berdasarkan hasil wawancara dengan bapak Irfan selaku Supervisor PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota dalam meminimalisir gangguan akibat sambaran petir terhadap jaringan SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti adalah dengan memasang alat proteksi berupa Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*), serta menggunakan *Arrester* untuk melindungi transformator yang terhubung dengan SUTM 20 kV dari sambaran petir. Alat proteksi yang digunakan berupa Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*) dan *Arrester* sendiri belum dapat meminimalisir gangguan akibat sambaran petir di penyulang Muaro Paiti, hal ini dibuktikan dengan masih banyaknya terjadi gangguan pada SUTM 20 kV akibat sambaran petir.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kurangnya perlindungan / proteksi dari Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*) adalah Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*) yang menyebabkan denyar balik (*back flashover*) dan sambaran petir pada kawat fasa yang diakibatkan kegagalan proteksi oleh kawat tanah (*ground steel wire*) [7]. Kemudian perlindungan / proteksi yang kurang maksimal dari *arrester* seperti isolasi tahanan *arrester* yang tidak kuat, sistem pentanahan *arrester* tidak baik serta penempatan *arrester* pada objek yang di proteksi (transformator) berpengaruh pada kualitas proteksi nya, ada jarak optimum *arrester* pada tranformator supaya perlindungannya menjadi lebih efektif [10] [22].



Berdasarkan penjelasan permasalahan yang telah dipaparkan diatas dan juga berbagai solusi yang sudah disebutkan, maka perlu dilakukan analisis terhadap sistem perlindungan pada SUTM 20 kV dalam meminimalisir gangguan akibat sambaran petir. Pada penelitian ini peneliti akan melakukan perhitungan dan analisis terhadap sudut lindung dari kawat tanah (*ground steel wire*) menggunakan Metode *Rolling Sphere* dengan persamaan Hasse dan Wiesinger serta memvariasikan jarak sambaran petir agar kawat tanah diharapkan dapat melindungi komponen-komponen secara maksimal pada jaringan SUTM 20 kV. Kemudian peneliti akan melakukan penempatan optimum *arrester* menggunakan Metode Pengali *Lagrange* agar dapat melindungi transformator distribusi dengan maksimal terhadap sambaran petir.

Metode *Rolling Sphere* difungsikan terhadap bangunan yang berbentuk rumit. Dengan metode tersebut seakan-akan terdapat bola pada radius  $R$  yang menggelinding di atas tanah, sekitar bangunan serta di atas bangunan ke seluruh arah sampai berjumpa dengan tanah bangunan yang memiliki kontak dengan permukaan bumi yang dapat bekerja selaku penghantar. Titik sentuh *Rolling Sphere* pada bangunan merupakan titik yang bisa di sambar petir serta pada titik ini wajib di lindungi oleh konduktor terminasi udara. Seluruh petir yang memiliki jarak  $R$  dari ujung penangkap petir hendak memiliki peluang sama buat menyambar bangunan. Metode *Rolling Sphere* memiliki terdiri dari parameter-parameter yakni jarak sambar, distribusi arus puncak, sudut lindung dan daerah lindung [7]. Metode Pengali *Lagrange* memakai suatu metode dalam menuntaskan optimasi dengan kendala persamaan, inti dari metode Pengali *Lagrange* merupakan mengganti permasalahan titik ekstrim terkendala jadi permasalahan ekstrim bebas kendala. Berikutnya peranan yang terbentuk dari transformasi ini disebut fungsi *Lagrange* [15].

Penelitian-penelitian terkait [12] [14] hanya membahas sistem proteksi kawat tanah (*ground steel wire*) dalam melindungi komponen-komponen pada jaringan sistem tenaga listrik, kemudian penelitian [10] [15] hanya membahas sistem proteksi *arrester* yang melindungi transformator pada jaringan sistem tenaga listrik. Pada penelitian ini peneliti ingin melakukan pengembangan dengan menganalisis sudut lindung optimum kawat tanah (*ground steel wire*) menggunakan metode *Rolling Sphere* dan penempatan optimal *lightning arrester* dengan metode Pengali *Lagrange* dalam melindungi komponen-komponen SUTM 20 kV, atas dasar inilah maka peneliti tertarik melakukan sebuah penelitian yang berjudul “**Analisis Sistem Proteksi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV Terhadap Sambaran Petir**” (Studi Kasus : PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota)”



## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas yang telah di paparan, hingga rumusan masalah penelitian dapat dirangkum dalam beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana perhitungan gangguan akibat sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung menggunakan kawat tanah (*ground steel wire*) pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti?
2. Bagaimana perhitungan gangguan akibat sambaran petir terhadap *lightning arrester* pada SUTM 20 kV?
3. Bagaimana sudut lindung kawat tanah (*ground steel wire*) menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan persamaan Hasse dan Wiesinger dalam melindungi komponen-komponen Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV penyulang Muaro Paiti PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota?
4. Bagaimana penempatan *arrester* menggunakan metode Pengali *Lagrange* sebagai proteksi transformator Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV penyulang Muaro Paiti PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian sebagai berikut :

1. Analisis perhitungan gangguan akibat sambaran petir menggunakan kawat tanah (*ground steel wire*) pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti.
2. Analisis perhitungan gangguan akibat sambaran petir terhadap *lightning arrester* pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti.
3. Analisis sudut lindung optimum kawat tanah (*ground steel wire*) menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan persamaan Hasse dan Wiesinger dalam melindungi komponen-komponen Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV penyulang Muaro Paiti PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota.
4. Analisis penempatan optimum *arrester* menggunakan metode Pengali *Lagrange* sebagai proteksi transformator Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV penyulang Muaro Paiti PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota.





#### 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berfokus serta menghindari meluasnya permasalahan, berikut beberapa batasan yang menjadi ruang lingkup dalam penelitian ini:

1. Pembahasan terfokus pada satu penyulang yaitu penyulang Muaro Paiti PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota.
2. Data yang digunakan yakni data gangguan pada jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV dari bulan Januari 2020 sampai Desember 2020.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat berguna serta memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai acuan untuk mengetahui sudut lindung kawat tanah (*ground steel wire*) dan penempatan optimum *arrester* dalam melindungi komponen-komponen pada Saluran Udara Tegangan Menengah1(SUTM) 20 kV PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota.
2. Penelitian ini dapat sebagai satu acuan dalam meminimalisirkan permasalahan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV terhadap sambaran petir agar listrik dapat digunakan seefisien mungkin.
3. Penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu konsep dalam meminimalisir permasalahan Saluran Udara Tegangan Menengah1(SUTM) 20 kV agar listrik dapat digunakan secara optimal.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Saat sebelum melaksanakan penelitian, maka dilakukan studi literatur yang bertujuan guna mencari referensi dan riset yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi ini didapatkan dari jurnal, buku maupun paper yang berhubungan dengan penelitian ini. Berikut terdapat beberapa jurnal yang relevan dengan penelitian ini yaitu :

Penelitian terkait [12] menganalisis daerah lindung serta *grounding* pada menara transmisi akibat terbentuknya *black flashover* dari sambaran langsung. Membahas keadaan *grounding* pada menara Nomor. 62 SUTT 70 kV transmisi Tomohon-Teling berakibat berlangsungnya *back flashover*, karna nilai resistan pengukuran pentanahan yaitu  $7,1 \Omega$  mempunyai perbandingan melebihi nilai standar resistan pentanahan  $\leq 5 \Omega$  dari nilai standar yang ditetapkan. Kemudian mendapatkan daerah lindung optimal kawat tanah dengan memberikan variasi jarak sambaran petir 500 m, 600 m, 700 m, 800 m dan 900 m. Penelitian ini menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan perhitungan daerah lindung kawat tanah menggunakan persamaan Hasse dan Wiesinger.

Dalam penelitian [14] menganalisis tingkat efektivitas kawat tanah guna mengamankan kawat SUTM 20 kV di GI Boom Baru Palembang. Hasil hitungan serta analisis nilai aspek perisaian kawat tanah di GI Boom Baru telah cukup baik, karna dapat meminimalisir jumlah gangguan petir induksi sebesar 35,50 gangguan per 100 kilometer per tahun.

Penelitian terkait berikutnya [10] menganalisis perlindungan transformator daya 60 MVA pada GI Teluk Betung supaya transformator daya ini dapat terlindungi oleh tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir dengan menggunakan *Lightning Arrester*. Spesifikasi *arrester* yang dipasang pada sisi HV transformator daya unit 1 GI Teluk Betung dengan tegangan nominal 144 kV, sudah cocok dengan keperluan sistem. Jarak maksimal antara *arrester* serta transformator daya yang diizinkan merupakan 28,5 m. Jarak di lapangan merupakan 3 m, tegangan yang datang pada transformator daya merupakan 480 kV serta masih di bawah nilai tingkatan isolasi dasar trafo, oleh karna itu proteksi transformator daya terhadap sambaran petir sudah bagus.



Pada penelitian [15] sistem proteksi terhadap gangguan yang diakibatkan sambaran petir pada jaringan sistem tenaga listrik menggunakan *arrester* sebagai pengaman utama terhadap sambaran petir pada jaringan transmisi Gardu Induk 150 kV Siantan. Dari penelitian ini didapatkan hasil analisis dan perhitungan nilai jarak optimal *arrester* terhadap transformator (S) pada 150 kV GI Siantan dengan menggunakan Metode *Lagrange* ialah 34.784 m, kemudian pengenalan / rating *arrester* yang digunakan adalah tegangan pengenalan *arrester* (UC) = 134,64 kV, tegangan kerja *arrester* (Ea) = 414,333 kV, operasi arus *arrester* (He) = 5,504 kA.

Pada penelitian berikutnya [23] mengkaji tentang pengaruh sambaran petir tidak langsung pada sistem tenaga listrik 13.8 kV jaringan distribusi BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada. Tegangan induksi maksimum sambaran petir tidak langsung, dihitung dengan menggunakan teori Rusck, kemudian analisis yang menggunakan parameter-parameter sambaran petir di lokasi, yaitu tegangan puncak, tegangan induksi, arus puncak serta variasi jarak sambaran petir dari titik sambar ke saluran. Untuk tegangan puncak tanpa gangguan sambaran tidak langsung, tegangan sisi kirim 11.2677 kV kemudian untuk sisi terima 11.2677 kV. Untuk tanpa *lightning arrester* 15 kV dan tanpa kawat tanah tegangan puncak pada sisi kirim 262.8462 kV kemudian sisi terima 504.5965 kV. Tegangan puncak tanpa *lightning arrester* 15 kV dan menggunakan kawat tanah tegangan sisi kirim 57.7815 kV, sisi terima 82.3703 kV. Tegangan puncak menggunakan *lightning arrester* 15 kV dan tanpa kawat tanah pada sisi kirim 39.6777 kV, sisi terima 47.7052 kV. Tegangan puncak menggunakan *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah pada sisi terima 11.2677 kV, sisi terima 11.2677 kV. Nilai tegangan induksi menggunakan kawat tanah 279.0139 kV, tanpa menggunakan kawat tanah 236.5553 kV. Nilai arus puncak adalah sebesar 199 A serta variasi jarak sambaran petir dari titik sambar ke saluran adalah 200 m, 300 m dan 400 m.

Berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan, penelitian sebelumnya fokus terhadap daerah lindung dan *grounding* pada menara transmisi akibat *black flashover* dari sambaran petir langsung, kemudian mendapatkan daerah lindung optimal kawat tanah dengan variasi jarak sambaran petir 500 m, 600 m, 700 m, 800 m dan 900 m, menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan perhitungan daerah lindung kawat tanah menggunakan persamaan Hasse dan Wiesinger. Penelitian sebelumnya mengenai analisis tingkat efektifitas kawat tanah dalam melindungi kawat saluran pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV terhadap sambaran petir tidak langsung. Berdasarkan penelitian terdahulu mengkaji pemasangan *lightning arrester* pada transformator daya 60 MVA supaya





transformator daya tersebut dapat terlindungi dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung, analisis menggunakan teknik statistik deskriptif. Dari penelitian terdahulu dijelaskan bahwa *arrester* sebagai perlindungan utama terhadap sambaran petir pada jaringan transmisi, kemudian hasil analisis dan perhitungan nilai jarak optimal *arrester* pada transformator dengan menggunakan metode Pengali *Lagrange*. Pada penelitian terdahulu mengkaji tentang pengaruh sambaran petir tidak langsung pada sistem tenaga listrik 13.8 kV jaringan distribusi dengan menggunakan teori Rusck, menggunakan variasi jarak sambaran petir 200 m, 300 m, 400 m, menganalisis kemampuan *arrester* serta kawat tanah dalam melindungi komponen-komponen pada jaringan distribusi.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang sudah dijelaskan, dapat disimpulkan bahwa analisis sistem proteksi kawat tanah (*ground steel wire*) dan *lightning arrester* terhadap sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung sangat penting dilakukan pada sistem kelistrikan guna menjaga keamanan dan keandalan operasi sistem tenaga listrik. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kurangnya perlindungan dari kawat tanah (*ground steel wire*) adalah kawat tanah yang menyebabkan denyar balik (*back flashover*) dan sambaran petir pada kawat fasa yang diakibatkan kegagalan perlindungan dari kawat tanah (*ground steel wire*). Kemudian perlindungan yang kurang maksimal dari *arrester* seperti isolasi tahanan *arrester* yang tidak kuat, sistem pentanahan *arrester* tidak baik serta penempatan *arrester* terhadap objek yang di proteksi (transformator) berpengaruh terhadap kualitas proteksinya, ada jarak maksimum *arrester* terhadap tranformator agar perlindungan nya menjadi lebih efektif.

Pada penelitian ini akan melakukan analisis sistem proteksi kawat tanah (*ground steel wire*) dan *lightning arrester* pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV terhadap sambaran petir. Penelitian ini mengadopsi penelitian terkait [12] yang fokus menghitung sudut lindung kawat tanah menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan persamaan Hasse dan Wiesinger terhadap sambaran langsung, kemudian penelitian [15] yang fokus membahas penempatan optimum *arrester* pada transformator menggunakan metode Pengali *Lagrange* terhadap sambaran tidak langsung. Adapun kelebihan penelitian ini dari beberapa penelitian terdahulu adalah penelitian ini menganalisis gangguan sambaran petir pada SUTM 20 kV terhadap sambaran langsung dan sambaran tidak langsung. Kemudian melakukan perhitungan dan analisis terhadap sudut lindung dari Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*) menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan persamaan Hasse dan



Wiesinger kemudian menggunakan parameter yang terdapat pada metode *Rolling Sphere* yakni jarak sambaran petir agar kawat tanah diharapkan dapat melindungi kawat fasa secara maksimal pada jaringan SUTM 20 kV. Kemudian peneliti akan melakukan penempatan optimum *Lightning Arrester* menggunakan metode Pengali *Lagrange* agar dapat melindungi transformator distribusi dengan maksimal terhadap sambaran petir. Peneliti melaksanakan penelitian di PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti yang mengalami 156 gangguan petir pada tahun 2020 [21], atas dasar inilah maka peneliti tertarik melakukan sebuah penelitian yang berjudul “Analisis Sistem Proteksi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV Terhadap Sambaran Petir”.

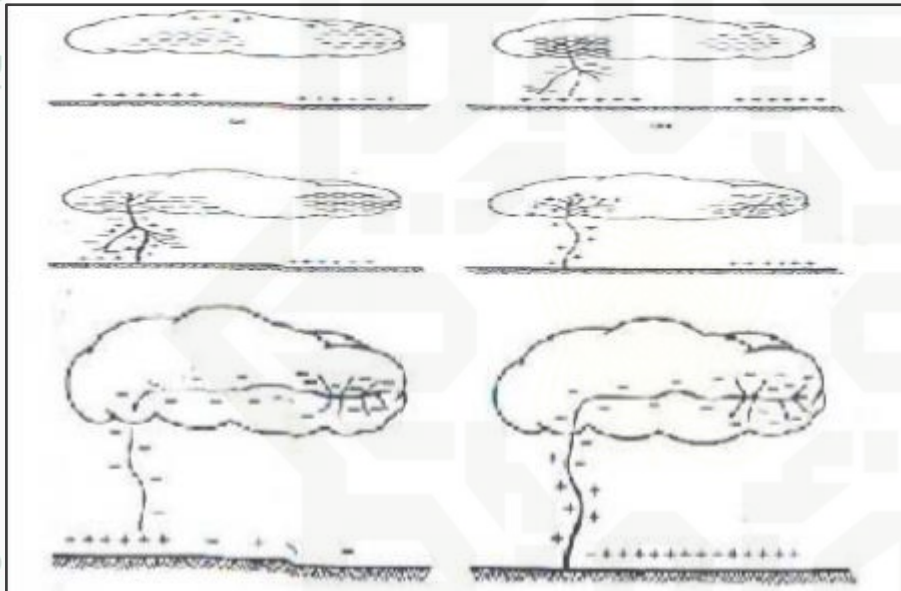
## 2.2 Proses Terjadinya Sambaran Petir

Petir ialah peristiwa alam dimana berlangsungnya loncatan muatan listrik di antara awan dan bumi. Terjadinya loncatan muatan listrik dimulai dengan terkumpulnya uap di dalam awan. Ketinggian antara permukaan atas serta permukaan dasar pada awan bisa menggapai jarak kurang lebih 8 kilometer dengan temperatur bagian dasar kurang lebih  $60^{\circ}\text{F}$  serta bagian atas sekitar  $-60^{\circ}\text{F}$ . Sehingga bertransformasi menjadi kristal-kristal es, kristal es tersebut sama-sama bertumbukan sehingga terpisahkannya antara muatan positif serta muatan negatif mengakibatkan terbentuknya petir. Apabila muatan pada awan meningkat, hingga muatan induksi juga meningkat sehingga beda potensial antara awan dan bumi pula kian besar. Peristiwa ini disertai pelopor menyusut dari awan serta di iringi dengan terdapatnya pelopor naik dari bumi yang mendekati pelopor menyusut. Panjang kanal petir rata-rata 5 kilometer. Kecepatan pelopor menyusut oleh awan dapat menggapai 3% kecepatan cahaya. Sebaliknya kecepatan pelepasan muatan balik menggapai 10% kecepatan cahaya [9]. Berikut penjelasan proses terjadinya petir :

1. Terbentuknya pengumpulan muatan ion negatif pada dasar awan yang menginduksi ion positif di bumi.
2. Pada saat beda potensial antara awan serta bumi menggapai batasnya, sehingga bagian bermuatan yang biasa disebut *leader stroke* hendak bergerak dari awan ke bumi.
3. *leader stroke* ini memiliki kecepatan antara  $10^5 - 2 \times 10^5 \text{ m/s}$  serta bergerak zigzag. Pada saat *leader stroke* menggapai bumi maka terjadinya sambaran balik ataupun biasa disebut *return stroke* yang memiliki kecepatan kurang lebih  $10^8 \text{ m/s}$  serta berlangsung kurang lebih  $100 \mu\text{s}$ . *Return stroke* bergerak dalam pola yang sama

dengan *leader stroke* dari bumi ke awan. Koneksi antara bumi serta awan hendak menimbulkan terbentuknya pelepasan muatan. Pelepasan muatan inilah yang kerap kita sebut dengan petir.

4. Awan kemudian menginduksikan muatan positif dari bumi pada salah satu kutubnya.
5. Kurang lebih 40  $\mu$ s sesudah *return stroke*, sambaran susulan disebut *dart leader* bisa jadi akan menyambar dengan pola yang sama dengan sambaran awal. *Dart leader* ini jauh lebih cepat serta tidak bercabang. Berlangsung karna perbandingan potensial antara dua kutub bermuatan di awan.
6. Sesudah *dart leader* menggapai bumi sehingga mengakibatkan terjadinya lagi *return stroke*. Proses ini bisa terjadi berulang kali.

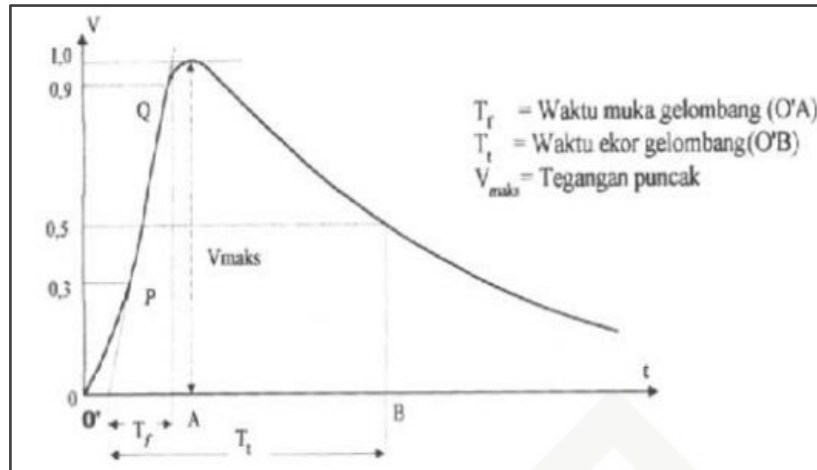


Gambar 2.1 Proses Terjadinya Petir [9]

### 2.2.2 Gelombang Impuls Petir

Sambaran petir yang menyambar saluran memunculkan gelombang berjalan terhadap kawat saluran. Rambatan surja terdiri oleh surja tegangan serta surja arus dengan kecepatan yang tergantung pada konstanta kawat. Pada saat surja menggapai titik peralihan maka mengakibatkan adanya peningkatan pada gelombang tersebut sehingga ada sedikit perbandingan dengan gelombang awal [9].





Gambar 2.2 Gelombang Impuls Petir [9]

### 2.2.3 Gangguan Petir Sambaran Langsung

Sambaran langsung ialah sambaran yang menyambar langsung pada kawat fasa terhadap SUTM, kemudian jika menggunakan kawat tanah di asumsikan tidak terdapat kegagalan pengamanan. Anggapan ini bisa dibenarkan sebab tinggi dari kawat tanah lo hingga 13 m dengan sudut perisaian yang umumnya  $<60^\circ$  bisa di asumsikan semua sambaran petir mengenai kawat tanah [9].

Panjang gawang saluran rata-rata 50 m, saluran yang tidak menggunakan sistem kawat tanah seluruh sambaran petir diasumsikan berlangsung pada kawat fasa, dimana pengetanahan dicoba pada jarak 3 hingga 4 gawang, seluruh sambaran petir diasumsikan berlangsung pada penopang konduktor fasa (tiang), baik pada tiang yang diketanahkan ataupun pada tiang yang tidak diketanahkan dengan perbandingan yang sama. Pada waktu petir menyambar sistem kawat tanah ataupun kawat fasa hendak memunculkan arus yang besar serta sepasang gelombang merambat pada kawat. Besar arus ataupun tegangan yang diakibatkan sambaran ini bergantung terhadap besar arus petir, waktu muka, serta tipe tiang saluran. Kian besar tegangan sistem, kian besar tiangnya, serta kian besar jumlah sambaran ke saluran itu [9].

### 2.2.4 Gangguan Petir Sambaran Tidak Langsung

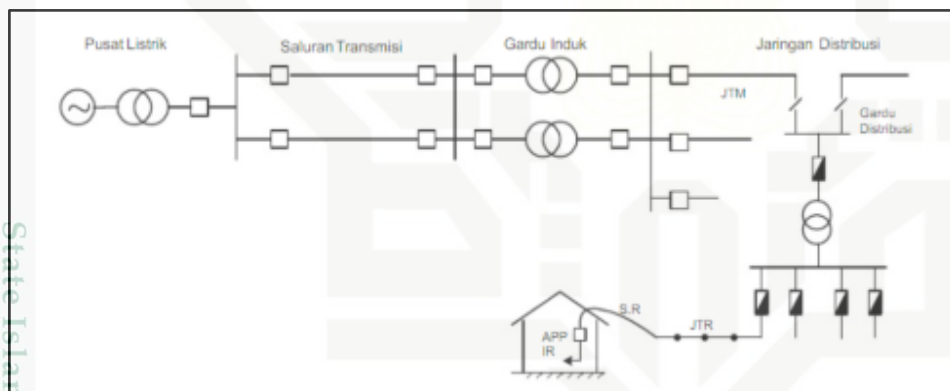
Apabila berlangsungnya sambaran kilat ketanah disekitar saluran, akan berlangsungnya fenomena transient yang disebabkan dari medan elektromagnetik dari kanal kilat. Fenomena kilat tersebut berlangsung pada kawat penghantar. Dampaknya muncul *overvoltage* serta gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat di tempat



sambaran terjadi. Fenomena transient pada kawat bisa terjadi cuma di bawah pengaruh gaya yang memforsir muatan bergerak sejauh hantaran [24].

### 2.3 Sistem Tenaga Listrik

Secara universal sistem tenaga listrik terdapat beberapa sistem di dalamnya seperti sistem pembangkit, transmisi serta distribusi. Pusat pembangkit listrik terdiri dari beberapa macam seperti PLTU, PLTA, PLTG, PLTD serta lainnya, tenaga listrik yang dibangkitkan setelah itu akan melewati penyaluran sistem distribusi tenaga listrik dari pusat pembangkit kepusat-pusat beban. Jaringan distribusi terbagi atas jaringan distribusi primer serta jaringan distribusi sekunder. Sehabis melalui saluran transmisi kemudian tenaga listrik menuju Gardu Induk (GI), pada gardu induk tegangannya diturunkan dengan trafo penurun tegangan (*step down transformer*) 20 kV dan 6 kV pada tegangan distribusi primer. Sehabis melalui saluran distribusi primer tenaga listrik diturunkan tegangannya oleh trafo distribusi jadi tegangan rendah dengan tegangan 380 atau 220 Volt ataupun 220 atau 127 Volt selaku Jaringan Tegangan Rendah (JTR) serta setelah itu di salurkan kepada konsumen dengan Sambungan Rumah (SR) [4].



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik [25]

### 2.4 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Pemakaian sistem tegangan menengah selaku jaringan utama merupakan usaha utama dalam menghindarkan rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang wajib dipenuhi oleh PT. PLN (Persero) sebagai perusahaan utama dibidang kelistrikan yang diatur dalam Undang-Undang Ketenagalistrikan Nomor 30 tahun 2009 [3].

Lingkup Jaringan Tegangan Menengah pada sistem distribusi di Indonesia diawali dari *out going* pemutus tenaga dari transformator penurun tegangan GI atau transformator penaik



tegangan pada pembangkit untuk sistem distribusi skala kecil, sampai peralatan pemisah / perlindungan *in coming* transformator distribusi 20 kV-231/400 V [26]. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) merupakan selaku konstruksi paling murah untuk penyaluran tenaga listrik pada energi yang sama. Konstruksi ini paling banyak digunakan untuk konsumen Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang digunakan di Indonesia. [26].



Gambar 2.4 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) [26]

## 2.5 Komponen Utama Kontruksi SUTM

Desain komponen-komponen konstruksi SUTM yang menyalurkan tenaga listrik dalam menekan kebutuhan beban ataupun energi listrik yang disalurkan butuh mencermati keamanan yang standar secara elektrik serta mekanik, komponen-komponen utama konstruksi jaringan distribusi bisa dilakukan perhitungan dengan memikirkan kondisi serta posisi, sehingga bisa memastikan kebutuhan komponen konstruksi antara lain [26] :

### 2.5.1 Penghantar

#### 1. Penghantar Telanjang (BC : *Bare Conductor*)

Konduktor menggunakan tembaga (Cu) ataupun *alluminium* (Al) yang dipilin bundar padat, berdasarkan SPLN 42-10 : 1986 serta SPLN 74 : 1987. Preferensi konduktor penghantar telanjang yang sering digunakan yaitu AAC ataupun AAAC.

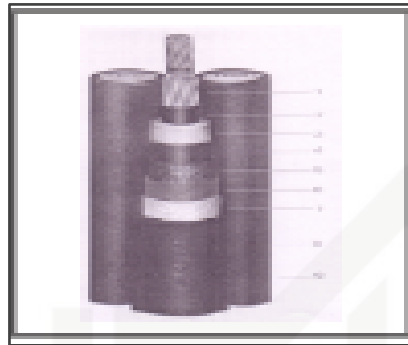
#### 2. Penghantar Berisolasi Setengah AAAC-S (*half insulated single core*)

Konduktor menggunakan aluminium ini di isolasi XLPE (*crosslink polyetilene* langsung), batasan tegangannya 6 kV serta wajib penuh SPLN Nomor 43-5-6 tahun 1995.



### 3. Penghantar Berisolasi Penuh (*Three single core*)

XLPE serta berselubung PVC penghantar baja memiliki tegangan pengenalnya 12 / 20 (24) kV. Penghantar tipe ini spesial difungsi pada Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) serta berisolasi penuh. SPLN 43-52: 1995- Kabel.



Gambar 2.5 Penghantar Berisolasi Penuh (*Three single core*) [26]

#### 2.5.2 Isolator



Pada jaringan SUTM, isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang penopang / *travers* dibedakan untul tipe konstruksinya yakni [26] :

##### 1. Isolator Tumpu

Pin- Insulator	Pin-Post insulator	Line-Post insulator
		

Gambar 2.6 Jenis-jenis Isolator Tumpu [26]

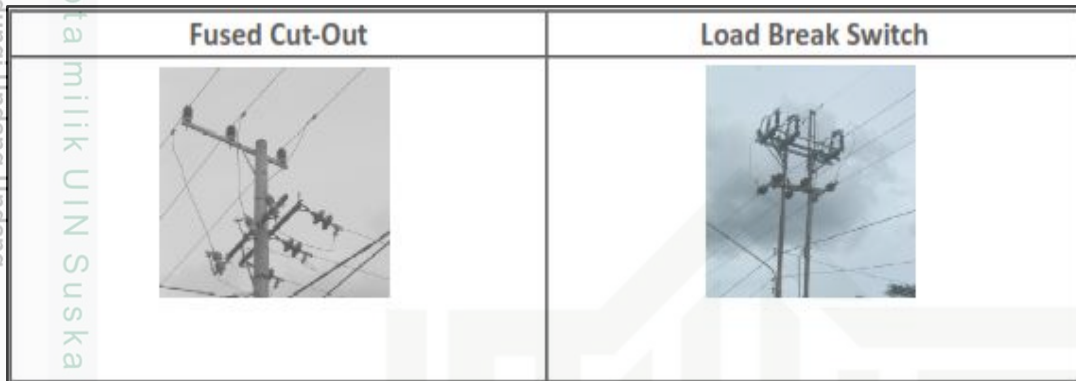
##### 2. Isolator Tarik

Piringan	Long-Rod	Keterangan
		Material dasar isolator Long-Rod dapat berupa keramik atau gelas atau polimer

Gambar 2.7 Jenis-jenis Isolator Tarik [26]

### 2.5.3 Peralatan Hubung (*Switching*)

Pada percabangan ataupun pengalokasian bagian jaringan SUTM bertujuan memudahkan operasional mesti dipasangkan pemutus beban ataupun *load break switch* (LBS), tidak hanya LBS bisa pula dipasangkan *Fused Cut-Out* (FCO) [26].



Gambar 2.8 Contoh letak pemasangan FCO dan LBS [26]

### 2.5.4 Tiang

1. Tiang Kayu Sesuai SPLN 115 : 1995.
2. Tiang besi merupakan tipe tiang dibuat dari pipa besi yang disambungkan sampai diperoleh kekuatan beban tertentu sesuai kebutuhan.
3. Tiang Beton

### 2.6 Proteksi Pada Jaringan Distribusi Saluran Udara 20 kV

Supaya pendistribusian tenaga listrik berjalan baik, gangguan-gangguan yang berlangsung pada masing-masing seksi mesti terdeteksi serta dijauhkan dari sistem yang lain dalam waktu singkat. Sebagian peranan sistem pengaman yakni sebagai berikut [27] :

1. Melokalisir gangguan agar komponen bebas gangguan.
2. Melepaskan seksi yang tidak bekerja normal, guna menghindari kerusakan.
3. Memberi petunjuk ataupun gejala atas lokasi dan tipe kegagalan yang berlangsung.
4. Membagikan layanan listrik dengan keandalan yang baik untuk konsumen.
5. Agar manusia aman dan terhindar dari bahaya yang listrik timbulkan.

Ada pula peralatan perlindungan yang difungsikan pada jaringan tegangan menengah dibagi jadi tiga kelompok [27] :

1. Peralatan pemisah atau penghubung.
2. Peralatan pengaman arus lebih.
3. Peralatan pengaman tegangan lebih.



### 2.6.2 Peralatan Pemisah atau Penghubung

Pemutus beban ataupun pemutus tenaga (PMT) berfungsi memudahkan membuka serta menutup sesuatu saluran antara sumber dengan beban, saat kondisi normal ataupun kondisi gangguan. Tipe pemutus yang digunakan pada gardu sebagai berikut :

1. Pemutus Tenaga.
2. Saklar Pemisah.
3. Saklar Pemisah Beban.
4. Saklar Seksi otomatis.

### 2.6.3 Pemutus Tenaga

Pada saat kondisi berlangsungnya gangguan PMT berfungsi selaku saklar otomatis yang bisa memutuskan arus hubung singkat, melenyapkan gangguan permanen dengan metode memisahkan dari seksi yang tidak normal secara otomatis, pengoperasian PMT ini digunakan sesuatu rangkaian trip yang menemukan *signal* dari sesuatu rangkaian relai pengaman.

### 2.6.4 Saklar Pemisah

Fungsi utama saklar pemisah merupakan memisahkan sesuatu bagian beban dari sumbernya pada kondisi tidak ada arus (di kala pemeliharaan ataupun perbaikan), sehingga bisa diperhatikan ataupun dipisahkan antara bagian aktif serta bagian non aktif.

### 2.6.5 Saklar Pemisah Beban

Saklar pemisah beban (*load break switch*) ialah saklar yang di desain buat memutuskan rangkaian listrik dalam keadaan beban nominal serta bekerja secara manual. Saklar ini tidak bisa bekerja secara otomatis pada waktu berlangsungnya gangguan, di buka ataupun di tutup guna memanipulasi beban.

### 2.6.6 Saklar Seksi Otomatis

SSO merupakan sesuatu alat pemutus yang berfungsi secara otomatis buat melepaskan bagian-bagian yang terganggu dari sesuatu sistem distribusi ataupun melepaskan/ melokalisir wilayah yang teganggu supaya senantiasa memperoleh suplai tenaga listrik. Saklar seksi otomatis (SSO) berfungsi sebagai cadangan dari PMT, dimana SSO dipasang pada jaringan udara tegangan menengah.





### 2.6.7 Peralatan Pengaman Arus Lebih

Tugas dari alat pengaman arus lebih merupakan buat menanggulangi kendala arus lebih pada sistem distribusi saat sebelum kendala tersebut meluas ke seluruh sistem yang terdapat. Peralatan yang banyak digunakan pada jaringan distribusi antara lain [27] :

1. Pelebur (*Fuse Cut Out*).
2. Pemutus Balik Otomatis (*Automatic Recloser*).
3. Relai.

### 2.6.8 Pelebur (*Fuse Cut Out*)

Pelebur (*fuse*) ialah gabungan perlengkapan pelindung serta pemutus rangkaian yang memiliki prinsip melebur (*expulsion*). Pengaman lebur ini ditempatkan pada sisi tegangan menengah (TM) buat mengamankan jaringan TM serta perlengkapan menuju GI terhadap gangguan hubung singkat di trafo, ataupun sisi TM saat sebelum trafo, serta gangguan permanen antara fasa ke tanah.

### 2.6.9 Pemutus Balik Otomatis (*Automatic Recloser*)

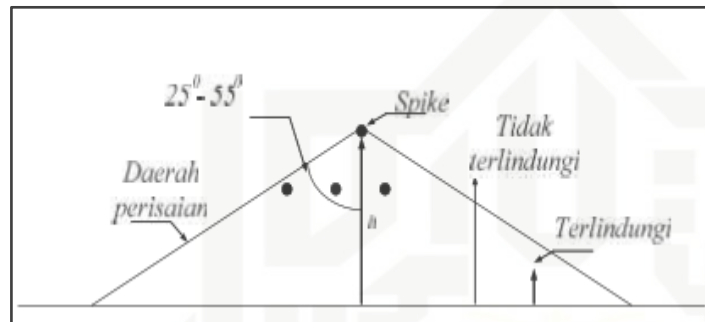
Penutup balik merupakan perlengkapan pengaman arus lebih dimana waktu buat memutus serta menutup kembali bisa di atur serta bekerja secara otomatis. Pemutus balik otomatis dilengkapi dengan fasilitas gejala arus lebih, pengatur waktu pembedahan, dan penutupan kembali secara otomatis. Desain dari penutup balik otomatis membolehkan untuk bisa membuka kontak-kontaknya secara tetap serta terkunci (*lock out*), sesuai pemrogramannya sesudah lewati sebagian kali operasi buka tutup.

### 2.6.10 Relai

Relai merupakan alat pengaman yang dipasang pada fitur yang berperan buat memproteksi komponen listrik dari kendala yang bisa jadi berlangsung. Relai memiliki sifat sensitif pada transformasi rangkaian yang bisa pengaruhi kinerja alat lain. Relai pengaman bertujuan menjauhi ataupun meminimalisir kerusakan yang berlangsung akibat gangguan pada peralatan yang dilewati arus gangguan [27].

## 2.7 Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*)

Kawat tanah (*Ground Steel Wire*) ialah kawat-kawat pada saluran yang ditempatkan di atas kawat-kawat fasa sebagai proteksi terhadap sambaran tidak langsung / sambaran langsung dari petir disekitar saluran. Bila berlangsung sambaran petir ke SUTM, kawat tanah hendak menyalurkan arus surja petir ke tanah sehingga SUTM leluasa dari gangguan. Kawat tanah sebaiknya mempunyai tahanan kontak yang rendah tetapi ketahanan impuls isolasinya besar. Bahan dari kawat tanah dibuat dari *steel* yang telah di galvanis, ataupun telah dilapisi dengan aluminium [14].



Gambar 2.9 Daerah Proteksi Menggunakan Sistem Kawat Tanah [9]

Sudut pengamanan kawat tanah berkisar antara  $25^\circ$  sampai  $55^\circ$ . Dari gambar di atas bisa dilihat, bila kawat tanah diposisikan setinggi  $h$  m dari *cross arm* tiang, hingga wilayah perlindungan sistem kawat tanah diposisikan didalam wilayah segitiga. Bila kawat fasa diletakkan pada area tersebut, kawat fasa hendak bisa terlindungi dari sambaran petir langsung [14].

### 2.7.1 Efektifitas Perlindungan Kawat Tanah

Efektifitas perlindungan kawat tanah diharapkan sanggup melindungi kawat fasa, sehingga tidak berlangsungnya sambaran petir langsung ke kawat fasa. Keefektifan proteksi kawat tanah meningkat baik bila kawat tanah ditempatkan dekat dengan kawat fasa. Buat mendapatkan proteksi (perisaian) yang baik, mestienuhi persyaratan [9] :

1. Supaya petir tidak menyambar langsung kawat fasa maka kawat tanah memiliki jarak di atas kawat fasa yang diatur sebaik mungkin.
2. Tengah gawang kawat tanah mesti memiliki jarak yang pas diatas kawat fasa buat menghindari terbentuknya lompatan api sebab tegangan pantulan negatif dari dasar tiang yang kembali ke tengah gawang.
3. Dikala petir menyambar tiang secara langsung, tidak berlangsungnya *flashover* pada isolator.

4. Tahanan kaki tower mesti cukup kecil guna mengurangi tegangan yang dibebani isolator supaya tidak berlangsung lompatan api (*flashover*) pada isolator.

### 2.7.2 Penangkapan Kilat Oleh Saluran, Jumlah Sambaran dan Probabilitas Arus

Suatu saluran di atas tanah akan membentuk bayang-bayang listrik pada tanah yang ada dibawah saluran transmisi. Kilat yang umumnya menyentuh tanah pada bayang-bayang hendak mengenai saluran sebagai gantinya, kemudian kilat diluar bayang-bayang tidak sama sekali menyambar saluran. Lebar bayang-bayang listrik ataupun di katakan daerah perisaian saluran menurut Whitehead (1977) [24]. Lebar bayang-bayang  $W$  adalah :

$$W = (b + 4h^{1.09}) \quad (2.1)$$

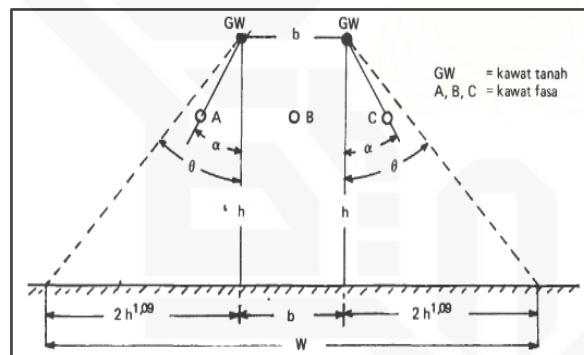
Dimana

$b$  = jarak pemisah antara kedua kawat tanah (m, bila kawat tanah hanya satu  $b = 0$ ).

$h$  = tinggi rata-rata kawat tanah di atas tanah =  $h_t - \frac{2}{3}$  andongan (m).

$h_t$  = tinggi kawat tanah pada tiang (m).

Diluar daerah perisaian kilat dianggap mengenai langsung ke tanah atau dikatakan sambaran induksi.



Gambar 2.10 Lebar bayang-bayang listrik saluran udara terhadap sambaran kilat [24]

Jadi luas bayang-bayang untuk 100 km panjang saluran :

$$A = 100(km) \times (b + 4h^{1.09}) \times 10^{-3}(km)$$

atau

$$A = 0.1(b + 4h^{1.09})km^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran}$$

Andongan ataupun *sag* ialah jarak lenturan suatu bentangan kawat diantara dua tiang penyangga. Nilai lenturan kawat penghantar dipengaruhi oleh panjang kawat, jarak antar tiang (*span*) serta berat penghantar. Perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$D = \frac{w d^2}{8 t}$$





Dimana

$D$  = andongan

$d$  = jarak antar tiang

$w$  = berat kawat (kg/m)

## 2.8 Tegangan Pada Saluran Akibat Sambaran Tidak Langsung

Medan elektromagnetis dari sambaran kilat perlu diketahui terlebih dahulu agar bisa menghitung tegangan lebih pada saluran akibat sambaran tidak langsung. Arus kilat pada tanah memiliki waktu muka yang kecil serta ekor yang panjang. Sepanjang proses *stepped leader* sesuatu muatan  $q_o$  terdistribusi secara menyeluruh sejauh *lightning channel*. Setelah itu sambaran balik yang berbentuk surja arus dengan bentuk *stepped function* bergerak dengan kecepatan cahaya serta menetralkan muatan yang terdapat pada kanal kilat [24].

Hubungan antar arus  $I_o$  dan muatan  $q_o$  adalah :

$$I_o = c q_o$$

Dimana

$I_o$  = harga puncak arus kilat selama sambaran balik

$c$  = kecepatan merambat sambaran balik

$q_o$  = muatan listrik pada lintasan kilat per satuan panjang

### 2.8.1 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Tidak Langsung Pada SUTM Tanpa Kawat Tanah

1. Menghitung daerah perisaian atau lebar bayang-bayang listrik untuk SUTM menggunakan persamaan 2.1.
2. Menghitung tegangan puncak yang diakibatkan oleh tegangan induksi petir tanpa kawat tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$V_i = \frac{Z_o I_o h}{y} = \frac{30 I_o h}{y} \quad (2.2)$$

Dimana

$V_i$  = tegangan induksi pada kawat (kV)

$I_o$  = besar arus kilat (kA)

$h$  = tinggi rata-rata kawat di atas tanah (m)

$y$  = jarak horizontal antara sambaran kilat dengan kawat (m)

$y = 0.3$  (untuk satu kawat tanah),  $0.15$  (untuk dua kawat tanah)



3. Probabilitas arus gangguan sambaran induksi yang demikian dapat diperoleh sebagai berikut [24] :

$$P_{Io} = e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot y}{1020 \cdot h}\right)} \quad (2.3)$$

4. Jumlah lompatan api merupakan jumlah sambaran dikalikan probabilitas arus ataupun melebihi arus  $I_o$  yang bisa memunculkan lompatan api. Jumlah lompatan api (*flashover*) yang dapat terjadi adalah :

$$N_{FL} = 30.6 IKL \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot h^{0.09}}{510}\right)}}{V_{50\%}} \quad (2.4)$$

Dimana

$IKL$  = jumlah hari guruh pertahun

$h$  = tinggi kawat fasa di atas tanah, (m)

$ht$  = tinggi kawat tanah di atas tanah, (m)

5. Lompatan api yang muncul tidak serta merta bergeser menjadi busur api ataupun gangguan. Besar gangguan bergantung pada besar probabilitas peralihan lompatan api jadi busur api ( $\eta$ ). Besarnya nilai  $\eta = 0,5$  serta ketahanan impuls isolasi  $V_{50\%} = 160 \text{ kV}$  [24]. Jumlah gangguan petir akibat sambaran tidak langsung (gangguan per 100 kilometer per tahun) diberikan oleh persamaan :

$$N_i = 30.6 IKL \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot h^{0.09}}{510}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta \quad (2.5)$$

$\eta$  = probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api satuan

## 2.8.2 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Tidak Langsung Pada SUTM Menggunakan Kawat Tanah

1. Menghitung daerah perisaian atau lebar bayang-bayang listrik untuk SUTM menggunakan persamaan 2.1.
2. Selanjutnya untuk menghitung tegangan puncak atau  $V_{maks}$  yang diakibatkan oleh tegangan induksi petir dengan kawat tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$V'_i = \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \cdot \frac{h_2}{h_1}\right) V_i \quad (2.6)$$

Dimana

$V'_i$  = tegangan induksi pada kawat fasa dengan kawat tanah (kV)

$V_i$  = tegangan induksi pada kawat fasa tanpa kawat tanah (kV)



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$Z_{22}$  = impedansi surja sendiri kawat tanah 2 (ohm)

$Z_{12}$  = impedansi surja bersama antara kawat tanah 2 dan kawat fasa 1 (ohm)

$h_1$  = tinggi rata-rata kawat fasa 1 di atas tanah (m)

$h_2$  = tinggi rata-rata kawat tanah 2 di atas tanah (m)

$R$  = tahanan kontak tiang (ohm)

3. Probabilitas arus gangguan sambaran induksi yang demikian dapat diperoleh sebagai berikut [24] :

$$P_{Io} = e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot y}{1020 \cdot h_t}\right)} \quad (2.7)$$

4. Perhitungan pengaruh kawat tanah pada tegangan induksi ada Faktor Perisaian (FP) yang diartikan selaku hasil untuk tegangan induksi dengan kawat tanah serta tegangan induksi tanpa kawat tanah. Kawat tanah ideal merupakan kawat tanah yang memiliki titik pengetanahan pada tiap titik sepanjang kawat tanah sehingga potensialnya sepanjang kawat merupakan nol. Pada realitasnya tidak terdapat kawat ideal, sehingga kawat tanah memiliki beda tegangan tertentu terhadap tanah [24]. Bila terdapat kawat tanah dapat dihitung faktor perisaian sebagai berikut :

$$FP = \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \cdot \frac{h_2}{h_1}\right) \quad (2.8)$$

Dimana

$FP$  = Faktor Perisaian

$V_i$  = tegangan induksi pada kawat fasa tanpa kawat tanah (kV)

$Z_{22}$  = impedansi surja sendiri kawat tanah 2 (ohm)

$Z_{12}$  = impedansi surja bersama antara kawat tanah 2 dan kawat fasa 1 (ohm)

$h_1$  = tinggi rata-rata kawat fasa 1 di atas tanah (m)

$h_2$  = tinggi rata-rata kawat tanah 2 di atas tanah (m)

$R$  = tahanan kontak tiang (ohm)

5. Jumlah lompatan api merupakan jumlah sambaran dikali probabilitas arus ataupun melebihi arus  $I_o$  yang bisa memunculkan lompatan api. Jumlah lompatan api (*flashover*) yang dapat terjadi adalah :

$$N_{FL} = 30.6 I_{KL} \cdot FP \cdot h_t \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} \cdot h^{0.09}\right)}}{V_{50\%}} \quad (2.9)$$

6. Lompatan api yang muncul tidak serta merta bergeser menjadi busur api ataupun gangguan. Besar gangguan bergantung pada besar probabilitas peralihan lompatan api jadi busur api ( $\eta$ ). Besarnya nilai  $\eta = 0,5$  serta ketahanan impuls isolasi  $V_{50\%} =$





160 kV [24]. Jumlah gangguan petir akibat sambaran tidak langsung (gangguan per 100 kilometer per tahun) diberikan oleh persamaan :

$$N_i = 30.6 IKL \cdot FP \cdot h_t \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} h^{0.09}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta \quad (2.10)$$

## 2.2 Tegangan Pada Saluran Akibat Sambaran Langsung

Pada saluran tidak menggunakan kawat tanah parameter sambaran kilat berpengaruh apabila berlangsungnya sambaran kilat pada saluran yang tidak menggunakan kawat tanah ialah arus puncaknya, sebaliknya pengaruh kecuraman arus bisa diabaikan. Pada saluran yang tidak menggunakan kawat tanah, sambaran kilat berlangsung pada konduktor, sedangkan sambaran langsung pada tiang tidak sering terjadi. Pada saluran dengan kawat tanah bisa dikira seluruh sambaran berlangsung pada tiang ataupun dekat tiang [24].

### 2.2.1 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Langsung Pada SUTM Tanpa Kawat Tanah

1. Menghitung besar arus kilat pada tempat sambaran dapat dihitung :

$$I = \frac{I_o}{2} \quad (2.11)$$

Dimana

$I$  = besar arus kilat pada tempat tersambar

$I_o$  = arus kilat bila kilat menyambar suatu objek dengan tahanan nol (*zero resistance ground*)

2. Menghitung besar tegangan yang timbul pada kawat adalah :

$$V_P = \frac{I_o}{4} Z_P \quad (2.12)$$

$Z_P$  = impedansi surja kawat

3. Menentukan probabilitas lompatan api, tegangan di atas akan dibandingkan dengan kekuatan isolasi dari semua jalan yang mungkin dari lompatan api isolasi saluran :

$$P_{FL} = e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{8.5 \cdot Z_P}\right)} \quad (2.13)$$

4. Jumlah sambaran kilat pada saluran (sambaran per 100 km per tahun) :

$$N_L = 0.015 IKL (b + 4h^{1.09}) \quad (2.14)$$

5. Jumlah lompatan api (*flashover*) yang dapat menimbulkan api dapat dihitung seperti berikut :

$$N_{FL} = N_L \cdot P_{FL} \quad (2.15)$$



6. Selanjutnya bila probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api (*power arc* atau *power follow*)  $\eta$ , maka jumlah gangguan adalah :

$$N_t = N_{FL} \cdot \eta \quad (2.16)$$

## 2.10 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Langsung Pada SUTM Menggunakan Kawat Tanah

1. Saluran dengan kawat tanah untuk menghitung berapa tegangan puncak yang diakibatkan oleh sambaran langsung dari petir, terlebih dahulu hitung impedansi surja tiang ( $Z_t$ ) dan impedansi surja *groundwire* ( $Z_g$ ). Untuk menghitung impedansi surja tiang dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_t = 60 \ln \left( \frac{h_t}{r_t} \right) + 90 \left( \frac{h_t}{r_t} \right) - 60 \quad (2.17)$$

2. Untuk menghitung impedansi surja kawat tanah dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_g = 60 \ln \left( \frac{h_t}{r_t} \right) \quad (2.18)$$

3. Tegangan puncak pada tiang yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_t = \frac{Z_g \cdot Z_t}{Z_g + 2Z_t} \quad (2.19)$$

4. Besar arus minimum yang mengakibatkan lompatan api dihitung sebagai berikut :

$$I_o = \frac{V_{50\%}}{R + dh_t} \quad (2.20)$$

5. Dengan mengetahui besar arus minimum yang dapat menimbulkan lompatan api balik (*black flashover*), kemudian dapat dicari probabilitas terjadinya lompatan api :

$$P_{FL} = e^{-\left(\frac{I_o}{34}\right)} \quad (2.21)$$

6. Jumlah sambaran kilat pada saluran (sambaran per 100 km per tahun) :

$$N_L = 0.015 IKL (b + 4h^{1.09}) \quad (2.22)$$

7. Jumlah gangguan karena sambaran kilat langsung pada *groundwire* :

$$N_t = N_L \cdot P_{FL} \cdot \eta \quad (2.23)$$

## 2.11 Sudut Lindung Kawat Tanah Menggunakan Metode *Rolling Sphere*

Sudut lindung kawat tanah dapat diukur dengan menggambarkan daerah lindung dengan metode *Rolling Sphere*. Sudut lindung ialah sudut antara garis singgung *Rolling Sphere* yang mengenai kawat tanah dengan permukaan tanah [12].

Perhitungan sudut lindung bisa menggunakan persamaan Hasse dan Wiesinger berikut ini :



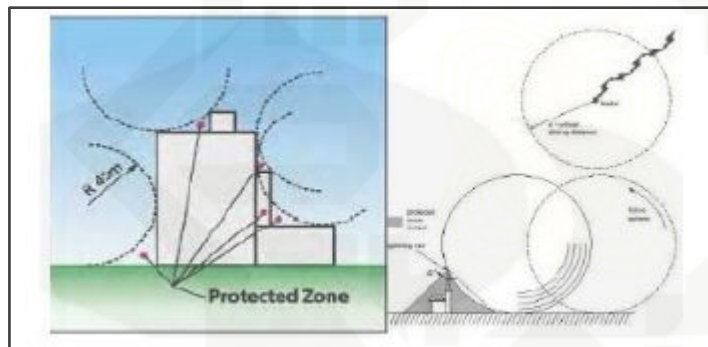
$$\varphi = \arcsin\left(1 - \frac{h}{h_b}\right) \quad (2.24)$$

Dimana

$h$  tinggi struktur tiang (m)

$h_b$  jarak sambaran petir (m)

Metode *Rolling Sphere* digunakan pada struktur yang berbentuk rumit. Metode ini seolah-olah terdapat suatu bola radius  $R$  yang bergulir di atas tanah, sekitar bangunan serta di atas bangunan ke seluruh arah sampai berjumpa antara tanah bangunan dan permukaan bumi yang dapat bekerja selaku penghantar. Titik sentuh *Rolling Sphere* pada bangunan merupakan titik yang bisa di sambar petir serta pada titik tersebut wajib diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Seluruh petir yang memiliki jarak  $R$  dari ujung penangkap petir hendak memiliki peluang yang sama buat mengenai bangunan. Metode *Rolling Sphere* terdiri dari macam parameter yakni jarak sambar, distribusi arus puncak, sudut lindung dan daerah lindung [7].



Gambar 2.11 Zona Proteksi Metode *Rolling Sphere* [7]

## 2.12 Lightning Arrester

Saluran udara yang keluar dari pusat pembangkit listrik ialah bagian instalasi pusat pembangkit listrik yang sangat rentan sambaran petir oleh sebab itu mesti di beri *lightning arrester*. Tidak hanya itu, *lightning arrester* mesti ditempatkan di depan tiap transformator serta wajib ditempatkan dekat dengan transformator. Perihal ini penting sebab gelombang berjalan mengarah ke trafo sehingga trafo menjadi target karna sebagai ujung terbuka trafo memiliki isolasi pada bumi atau tanah sehingga gelombang pantulanya hendak sama-sama membesar dengan gelombang ditimbulkan. Artinya trafo sanggup alami surja tegangan 2 kali lebih kuat tegangan gelombang surja yang datang [28].

*Arrester* ialah alat pelindung instalasi terhadap gangguan *overvoltage* yang diakibatkan oleh sambaran petir ataupun oleh surja hubung. *Arrester* berperan selaku





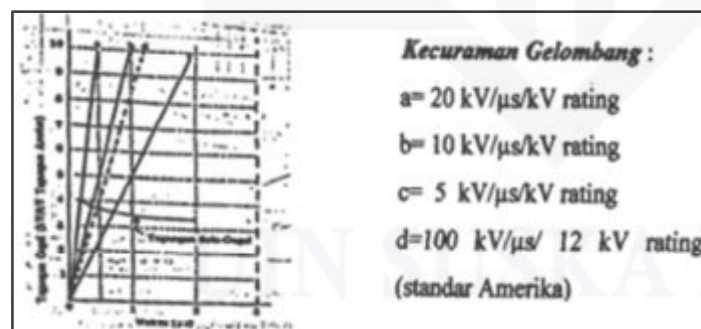
komponen dalam memproteksi isolasi ataupun mengamankan komponen listrik terhadap instalasi oleh gangguan tegangan lebih yang diakibatkan dari sambaran petir ataupun tegangan transient yang besar oleh penyambung ataupun pemutus rangkaian, *arrester* bersifat sebagai jalan pintas dekat isolasi yang membentuk jalur sehingga gampang dilewati arus kilat sistem pentanahan sehingga memunculkan tegangan lebih yang besar serta tidak mengganggu isolasi komponen listrik. Jalan pintas ini mesti di atur dengan baik sehingga tidak mengganggu penyaluran tenaga listrik kepada konsumen [8].

### 2.12.1 Karakteristik *Arrester*

*Arrester* digunakan sebagai pelindung terhadap surja petir, maka karakteristiknya perlu di ketahui sebagai berikut [28] :

1. Tegangan dasar 50 c/s yang tidak diperkenankan dilampaui.
2. Karakteristik dibatasi oleh tegangan (*voltage limiting*) bila di lalui berbagai jenis arus petir.
3. Ada batas termis.

Ciri proteksi dari *arrester* telah alami banyak transformasi, yang sangat menonjol dalam transformasi ini adalah tegangan gagal sela serta tegangan pelepasan maksimalnya sama dengan tegangan dasarnya buat sesuatu bentuk surja tertentu. Tegangan gagal sela di sebut pula tegangan percikan, pada frekuensi 50 c/s wajib memiliki harga yang besar buat mengurangi seminimal mungkin pelepasan yang diakibatkan oleh terdapatnya hubung singkat ke tanah serta surja hubung. Tegangan pelepasan disebut pula tegangan sisa yakni tegangan anatra terminal-terminal *arrester* apabila *arrester* melangsungkan arus surja. [28].



Gambar 2.12 Karakteristik Tegangan Gagal Sel *Arrester* [28]

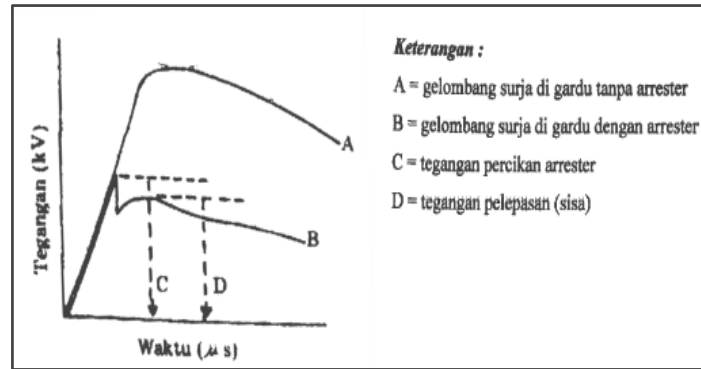
Efisiensi dari proteksi ditetapkan terutama oleh tegangan pelepasan. Tegangan percikan buat impuls curam bisa jadi lebih besar dari tegangan sisa. Perihal ini dikira kurang berarti sebab waktunya singkat saat sebelum kegagalan berlangsung [28].

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



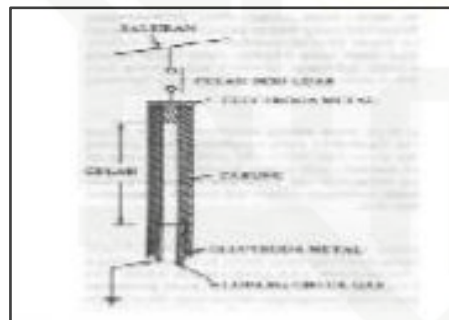
Gambar 2.13 Pengaruh Arrester Terhadap Surja Tegangan [28]

### 2.12.2 Jenis Arrester

Macam-macam *arrester* dikelompokkan terdiri dari dua jenis berikut [15] :

#### 1. Arrester eksplusi

Terdiri dari sela percik yang terletak dalam tabung serat serta sela percik yang terletak diluar ataupun dikatakan pula sela seri. Apabila terdapat surja tegangan yang besar hingga pada jepitan *arrester* kedua sela percik, yang diluar serta yang terletak didalam tabung serat, tembus tiba-tiba serta membentuk jalur penghantar dalam wujud busur api. Dalam pemanfaatan terakhir *arrester* tipe ini kerap diucap sebagai tabung pelindung.

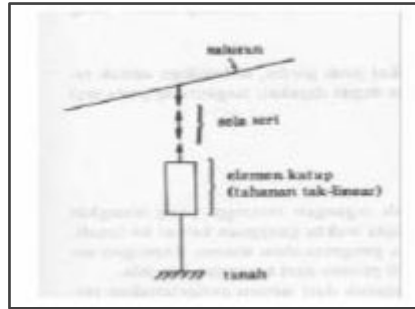


Gambar 2.14 Arrester jenis eksplusi [15]

#### 2. Arrester jenis katup

*Arrester* tipe katup ini terdiri dari sela pecik terbagi ataupun sela seri yang tersambung dengan elemen tahanan yang mempunyai ciri tidak linier. Tegangan frekuensi dasar tidak bisa memunculkan tembus pada sela seri. *Arrester* jenis katup ini dibagi dalam tiga jenis yaitu :

- Arrester* katup jenis gardu (*station*).
- Arrester* katup jenis saluran (*intermediate*).
- Arrester* katup jenis distribusi untuk mesin-mesin (*distribution*).



Gambar 2.15 Arrester jenis katup [15]

### 2.12.3 Data Pengenal Arrester

*Nominal Voltage Arrester* (Tegangan Pengenal) merupakan tegangan *arrester* masih bisa berfungsi sesuai karakteristiknya. *Arrester* tidak bisa berfungsi pada tegangan maksimal sistem yang dirancang, namun sanggup melakukan pemutusan arus yang ikut dari sistem secara efisien. Tegangan pengenal *arrester* wajib lebih besar daripada tegangan fasa ke tanah, bila tidak seperti itu *arrester* hendak melewati arus yang ikut dari sistem sangat besar dapat mengakibatkan *arrester* rusak karna *thermal overloading* [28].

Arus peluahan nominal ialah arus pelepasan dengan harga puncak dan bentuk gelombang tertentu yang difungsikan dalam menentukan tingkatan *arrester* sesuai dengan kemampuannya dalam melewati arus serta ciri perlingkungannya melewati arus serta ciri perlingkungannya [28].

### 2.12.4 Tingkat Isolasi Dasar (TID)

Tingkat isolasi dasar (TID) atau disebut sebagai *Basic Impuls Insulation Level* (BIL) dari suatu peralatan. Dalam menggapai keandalan sistem yang baik terdiri dari macam metode untuk mengkoordinasikan isolasi komponen jaringan dengan alat-alat pelindungnya. Metode yang baik adalah menentukan level tertentu isolasi.





Kelas Refrensi (kV)	BIL (kV)	80%BIL (kV)
1.2	30	24
8,7	75	60
12	95	76
23	150	120
34,5	200	160
66	250	200
49	350	280
92	450	360
115	550	440
138	650	520
161	750	600
180	825	660
196	900	720
230	1050	840
260	1175	940
287	1300	1040
345	1550	1240

Gambar 2.16 TID (BIL Peralatan Sistem Yang Ditanahkan) [28]

### 2.12.5 Penentuan Tingkat Isolasi Dasar (TID)

Perancangan sistem proteksi trafo distribusi guna memilih posisi komponen proteksi dari probabilitas bahaya sambaran petir, tahapan pertama ialah memilih tingkatan kemampuan isolasi impuls dasar. Trafo jenis gardu yang terpasang ditiang SUTM 20 kV dapat dihitung tegangan tertinggi pada peralatan menggunakan persamaan :

$$V_{max} = V_{nominal} \times 1.1 \quad (2.25)$$

### 2.12.6 Tegangan Pengenal *Lightning Arrester*

Dalam menghitung tegangan pengenal dari *arrester* dengan tahanan rendah koefisien pentanahan dipilih 100% (pentanahan tidak efektif) dengan tegangan sistem tertinggi 20 kV dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Tegangan sistem maksimum

$$V_{nominal} + 10\% \text{ (faktor toleransi)}$$

$$V_{max} = V_{nominal} \times 1.1$$

2. Tegangan pengenal *arrester*

$$V_P = V_{max} \times 1.0 \quad (2.26)$$



### 2.12.7 Menentukan Arus Pelepasan *Arrester*

Dalam menghitung arus pelepasan impuls *arrester* saat melepaskan arus surja petir dapat menggunakan persamaan berikut :

$$I_a = \frac{2U_d - U_a}{Z_s} \quad (2.27)$$

Dimana

$I_a$  = arus pelepasan *arrester*

$U_d$  = tegangan gelombang datang

$Z_s$  = impedansi surja saluran datang

$U_a$  = tegangan kerja atau tegangan sisa

### 2.12.8 Menentukan Tegangan Pelepasan *Arrester*

Arus pelepasan *arrester* ( $I_a$ ) serta kecuraman arus ( $di/dt$ ) yang datang ke peralatan bergantung pada tegangan pelepasan atau tegangan kerja. Tegangan pelepasan ini merupakan ciri yang sangat berarti pada *arrester* buat proteksi komponen. Tidak itu saja, tegangan kerja ini guna memastikan tingkatan proteksi *arrester* bila tegangan kerja *arrester* terletak TID komponen yang diproteksi dengan aspek keamanan yang layak proteksi komponen yang optimal bisa tercapai [28].

### 2.12.9 Faktor Perlindungan *Arrester*

Aspek proteksi *lightning arrester* merupakan selisih tegangan TID peralatan yang diproteksi dengan Tingkat Perlindungan (TP) *arrester* terhadap tingkatan proteksi *arrester* [28]. Faktor perlindung *arrester* dapat menggunakan rumus berikut :

$$FP = \frac{TID - TP}{TP} \times 100\% \quad (2.28)$$

Dimana

FP = Faktor perlindungan

TID = Tingkat isolasi dasar

TP = Tingkat perlindungan

Aspek tingkatan proteksi dari *arrester* ialah harga puncak tegangan yang berlangsung pada terminal *arrester* disaat keadaan kerja, yakni pada saat mengalirkan arus surja ke tanah. Terdapat 2 harga yang biasa dipertimbangkan selaku harga tingkatan proteksi impuls dan tegangan *arrester*. Dalam memastikan tingkatan proteksi peralatan yang hendak di proteksi oleh *arrester* biasanya diambil harga 10% lebih besar dari tegangan pelepasan *arrester*.



Besarnya aspek proteksi biasanya 20% dari TID peralatan untuk *lightning arrester* yang dipasang disekitar peralatan yang hendak diproteksi [28].

### 2.12.10 Penempatan *Lightning Arrester* Menggunakan Metode Pengali *Lagrange*

Dalam memperoleh proteksi trafo yang optimal, *arrester* diposisikan pada jarak tertentu (tidak boleh terlalu jauh maupun sangat dekat), pada prakteknya *arrester* mesti ditempatkan pada jarak tertentu, supaya proteksi dapat berlangsung optimal. Jikalau *arrester* disambungkan dengan SUTM dengan peralatan yang diproteksi, maka dalam menentukan jarak optimaum *arrester* dan trafo dapat menggunakan persamaan [15] :

$$E_p = E_a + 2 \frac{A \cdot S}{V}$$

Dimana

$E_p$  = tegangan pengenalan (kV)

$E_a$  = tegangan tembus (kV)

$A$  = kecuraman gelombang datang (kV/ $\mu$  s)

$S$  = jarak *arrester* (m)

$V$  = kecepatan rambat gelombang impuls (m/ $\mu$  s)

Metode Pengali *Lagrange* memakai suatu metode dalam menuntaskan optimasi dengan kendala persamaan, inti dari metoda Pengali *Lagrange* merupakan mengganti permasalahan titik ekstrim terkendala jadi permasalahan ekstrim bebas kendala. Berikutnya peranan yang ada dari transformasi disebut fungsi *Lagrange* [15]. Jarak optimum *arrester* menggunakan metode Pengali *Lagrange* :

$$S = \frac{-1/2 \cdot (E_a - E_p) \cdot V}{A}$$

Apabila  $E_a = 0$  Maka nilai optimal posisi *arrester* :

$$S = \frac{-1/2 \cdot (-E_p) \cdot V}{A}$$

Kemudian untuk menentukan jarak optimum *arrester* menggunakan metode Pengali *Lagrange* dapat dirumuskan :

$$S = (E_a \cdot E_p) \frac{V}{2 \cdot A} \quad (2.29)$$





## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian kuantitatif adalah salah satu metode penelitian dengan kriteria sistematis, terencana, terstruktur dengan jelas dan umumnya hasil penelitian berupa data numeric atau angka. Pendekatan deskriptif ialah metode pendekatan yang berperan untuk mendeskripsikan ataupun memberikan gambaran pada objek yang akan diteliti melalui data ataupun sampel yang sudah terkumpul. Tujuan pendekatan deskriptif yaitu guna mendeskripsikan objek penelitian maupun hasil dari penelitian.

#### 3.2 Prosedur Penelitian

Terdapat beberapa tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Dimana ada sembilan tahapan tersebut yaitu :

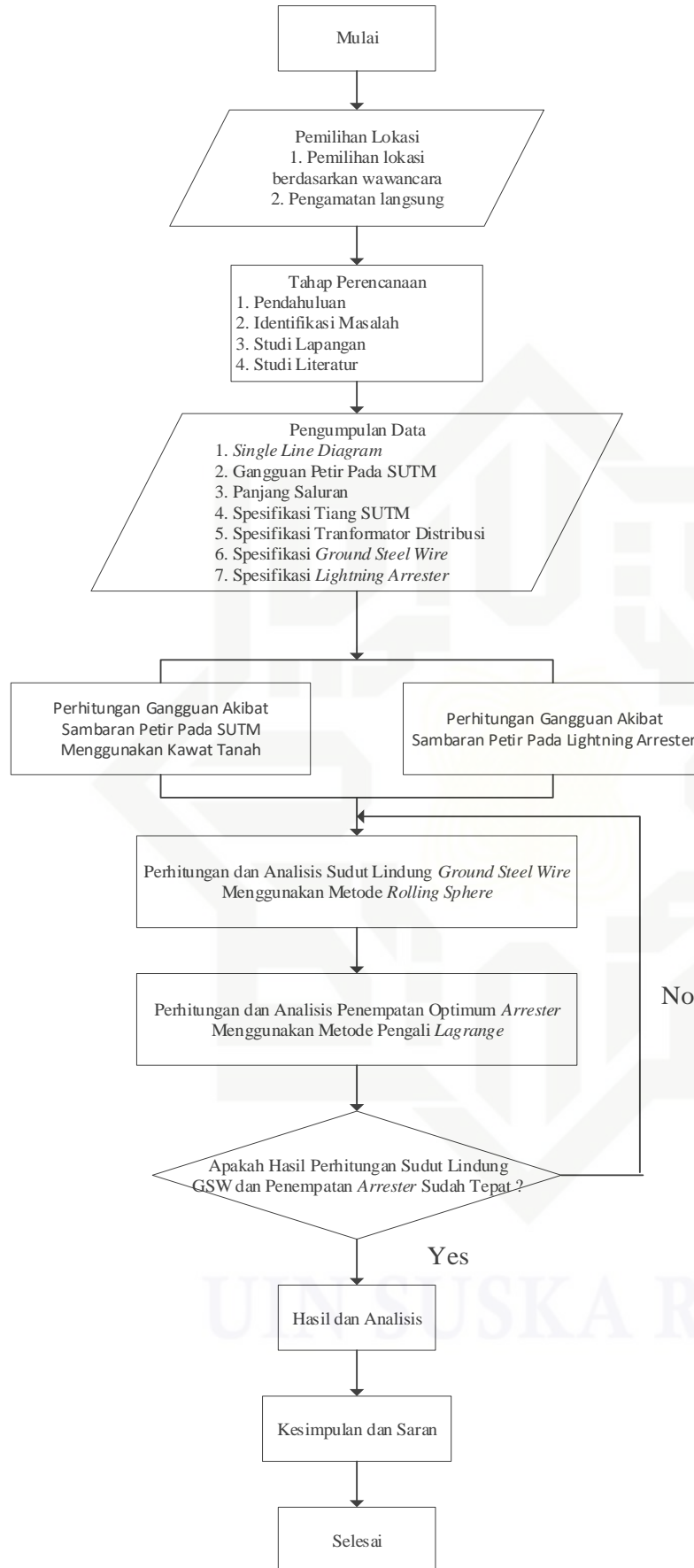
1. Pemilihan Lokasi
2. Tahap Perencanaan
3. Pengumpulan Data
4. Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Pada Kawat Tanah
5. Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Pada Lightning Arrester
6. Perhitungan dan Analisis Sudut lindung *Ground Steel Wire* Menggunakan Metode *Rolling Sphere*
7. Perhitungan dan Analisis Penempatan optimum *Arrester* Menggunakan Metode *Pengali Lagrange*
8. Hasil dan Analisis
9. Kesimpulan dan Saran

Adapun sembilan tahapan ini digambarkan oleh diagram alur penelitian pada gambar

3.1 berikut :

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Alur Tahapan Penelitian



### 3.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) Area Payakumbuh Rayon Lima Puluh Kota. Peneliti memilih penyulang Muaro Paiti di karenakan penyulang Muaro Paiti sering mengalami gangguan sambaran petir. Kemudian dalam melengkapi data-data yang dibutuhkan dalam penulisan tugas akhir ini, maka penulis mengambil lokasi penelitian pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV penyulang Muaro Paiti.

### 3.4 Tahap Perencanaan

Untuk melaksanakan penelitian, tahap perencanaan merupakan hal yang utama untuk mempersiapkan agar semua hal teknis yang dilaksanakan tersusun dengan jelas dan untuk mempermudah penelitian sesuai rencana. Adapun perencanaan yang disusun dalam penelitian ini yaitu :

#### 1. Pendahuluan

Pendahuluan terdapat pada bab 1, pada tahapan ini memiliki tujuan dalam menentukan latar belakang yang terkait dari penelitian, menentukan rumusan masalah yang hendak dijadikan sebagai bahan dalam penelitian, menjelaskan tujuan penelitian, membahas batasan masalah penelitian, serta menjelaskan manfaat penelitian. Perihal tersebut bertujuan guna mempermudah peneliti dalam menemukan masalah serta pemecahan masalah saat melakukan penelitian. Data-data yang di ambil berdasarkan hasil wawancara, laporan perusahaan, dan hasil pengamatan secara langsung di PT. PLN (Persero) Area Payakumbuh Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti.

#### 2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang ada dalam penelitian ini terdiri dari rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian dan manfaat penelitian yang dijelaskan pada bab 1 pendahuluan. Masalah yang dibahas pada penelitian ini ialah gangguan sambaran petir terhadap Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV yang berakibat terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Tujuan yang ingin dicapai adalah mendapatkan hasil sudut lindung optimal dari Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*) dan penempatan optimum *Arrester* sehingga dapat melindungi komponen SUTM 20 kV secara maksimal terhadap sambaran petir.

#### 3. Studi Lapangan

Tahap ini dilakukan dengan cara mengamati secara langsung lokasi yang menjadi objek penelitian, bertujuan dalam mengenal kondisi lokasi penelitian yaitu pada



PT. PLN (Persero) Area Payakumbuh Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti dan mengumpulkan data yang dibahas dalam penelitian ini, dengan cara melakukan wawancara, dan observasi dengan pihak PT. PLN (Persero) Area Payakumbuh Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti yang menjadi objek penelitian.

#### 4. Studi Literatur

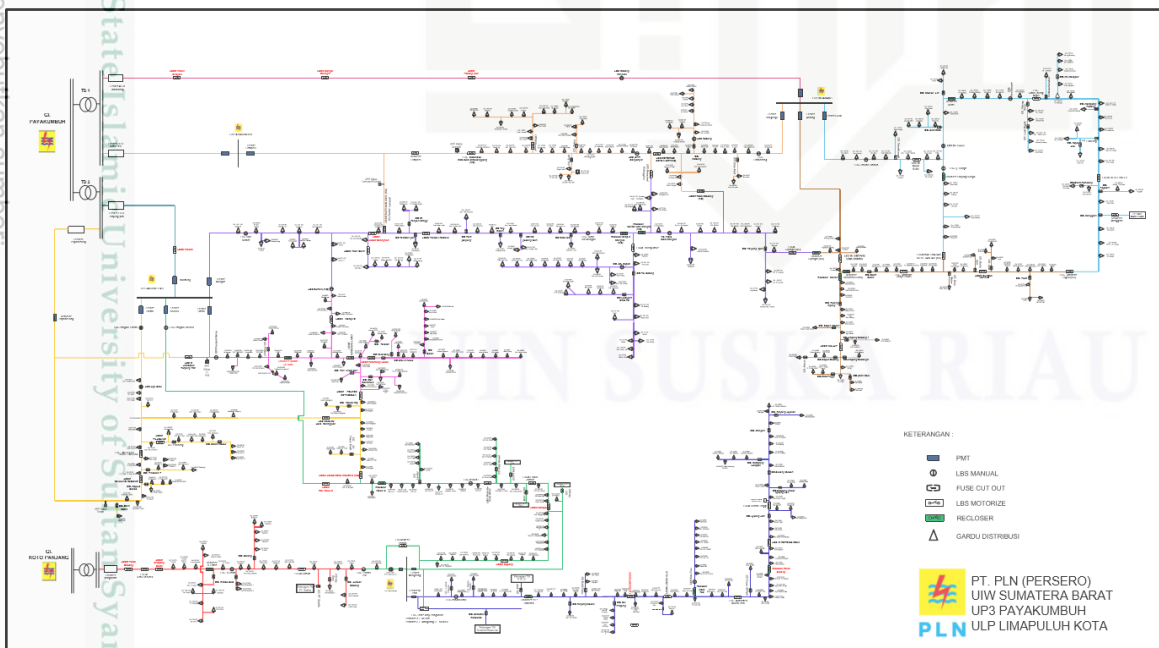
Pada studi literatur bertujuan mengumpulkan sumber referensi, jurnal-jurnal terkait penelitian sebelumnya serta buku. Pada jurnal terkait hendak dilakukan analisis mengenai teori yang digunakan dan metode yang diterapkan. Pada buku akan diambil teori pendukung dalam penelitian.

### 3.5 Pengumpulan Data

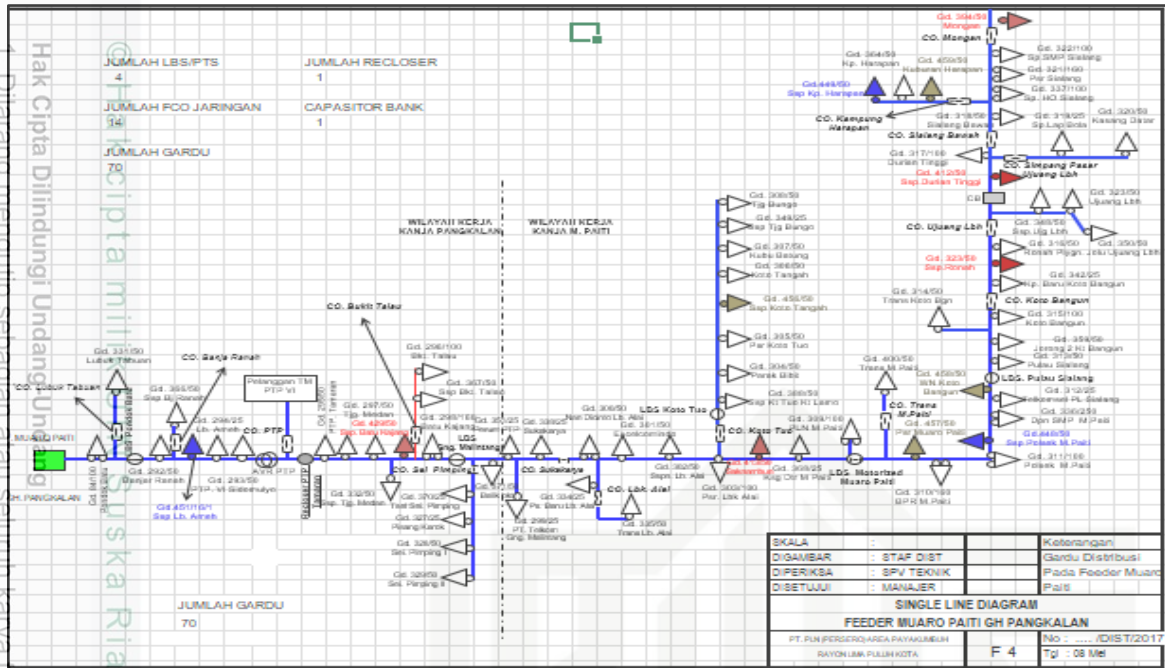
Data yang dipakai dalam penelitian ini yaitu data yang dikumpulkan dari PT. PLN (Persero) Area Payakumbuh Rayon Lima Puluh Kota. Penulis melakukan pengamatan secara langsung kelapangan serta melakukan pengumpulan data-data sistem dan tinjauan pustaka yang diperoleh dari jurnal-jurnal terkait, buku-buku referensi, serta data dari tempat lokasi penelitian. Beberapa data yang dibutuhkan yaitu :

#### 3.5.1 Data Single Line Diagram

Data *single line diagram* bertujuan untuk mengetahui komponen yang digunakan pada titik beban. Berikut ini gambar *single line diagram* pada gambar 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.2 Single Line Diagram Area Payakumbuh



Gambar 3.3 Single Line Diagram Penyulang Muaro Paiti

### 3.5.2 Data Gangguan Petir

Data monitoring gangguan sambaran petir pada jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV pada penyulang Muaro Paiti sepanjang tahun 2020 di tunjukkan pada tabel 3.1.

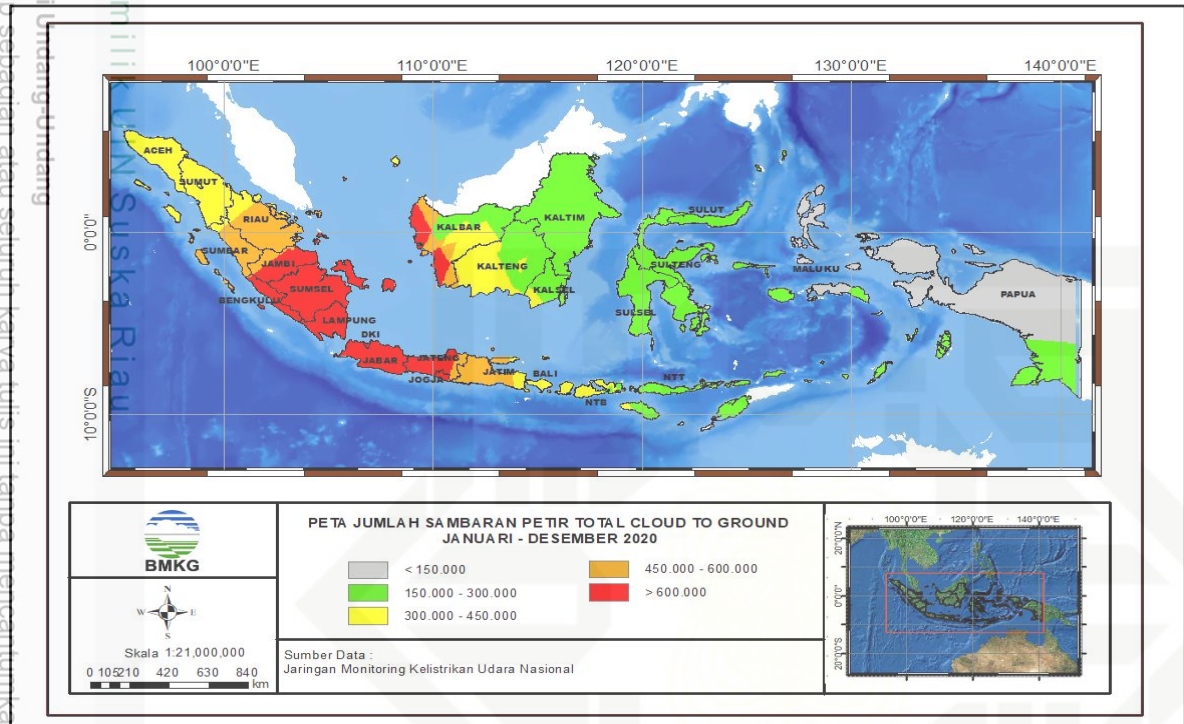
Tabel 3.1 Data monitoring gangguan SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti.

No	Bulan	Periode 2020
1	Januari	17
2	Februari	15
3	Maret	13
4	April	14
5	Mei	12
6	Juni	8
7	Juli	10
8	Agustus	13
9	September	15
10	Oktober	10
11	November	16

12	Desember	13
Jumlah		156
Rata-rata		13

Data peta sambaran petir serta hari guruh per tahun dapat ditunjukkan pada gambar

### 3.4



Gambar 3.4 Peta Jumlah Sambaran Petir [18]

### 3.5.3 Data Panjang Saluran

Data penyulang yang diambil meliputi nama penyulang, panjang saluran, beban penyulang, jenis konduktor / kabel yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Panjang saluran, beban, jenis konduktor / kabel penyulang Muaro Paiti.

Nama Penyulang	Panjang (Kms)	Konduktor		Beban Puncak (A)	Impedansi	Urutan positif dan Impedensi Urutan Nol (ohm / Km)
		Jenis	Penampang ( $mm^2$ )			
	25	A3CS	240	60	$Z_2 = Z_1$	$0.01344 + j 0.3158$





Penyulang Muaro Paiti					$Z_o$	0.2824 + j 1.6034
Recloser	40	A3CS	240	44	$Z_2 = Z_1$	0.01344 + j 0.3158
					$Z_o$	0.2824 + j 1.6034

### 3.5.4 Spesifikasi Tiang SUTM 20 kV

Tiang beton jenis tubular berdasarkan SPLN 93 : 1991, spesifikasi konstruksi tiang beton dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi tiang beton bulat untuk SUTM 20 kV

Panjang (m)	Tinggi titik tumpu / batas tanam (m)	Diameter (cm)	Beban kerja (daN)
12	2.0	19	500

### 3.5.5 Spesifikasi Transformator

Data transformator pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data spesifikasi transformator SUTM 20 kV

Kapasitas Terpasang	Tegangan Primer	Tegangan Sekunder
250kVA	20kV	220/380kV

### 3.5.6 Spesifikasi Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*)

Data kawat tanah untuk jaringan SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti dapat dilihat pada tabel 3.5 berikut :

Tabel 3.5 Spesifikasi kawat tanah

Spesifikasi	Jenis / Nilai
Jenis kawat tanah	BC
Tinggi rata-rata kawat fasa di atas tanah	8.9 meter
Tinggi kawat tanah di atas tanah	10 meter
Jarak vertikal kawat tanah dan kawat fasa	1.1 meter



Jarak antara kedua kawat fasa	3.6 meter
Diameter kawat tanah	50 mm <sup>2</sup>
Berat kawat tanah	0.447 kg/meter
Regangan mendatar kawat tanah	500 daN
Kedalaman tiang	2 meter
Lebar tiang	2 meter

### 3.5.7 Spesifikasi *Lightning Arrester*

Data *lightning arrester* pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Karakteristik *lightning arrester*

Spesifikasi	Nilai
Tegangan pengenalan	24kV
Arus pelepasan nominal	5kA
Tegangan percik muka gelombang	100kV
Tegangan percik standar	87kV
Tegangan maksimal pada arus nominal	87kV

### 3.6 Perhitungan dan Analisis Sudut Lindung Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*)

Dalam menganalisis perlindungan kawat tanah (*ground steel wire*) dapat dilakukan perhitungan sesuai teori dan rumus oleh T.S Hutahuruk terkait gangguan sambar petir pada SUTM 20 kV. Berikut tahapan yang dapat dilakukan :

#### 3.6.1 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Tidak Langsung Pada SUTM Tanpa Kawat Tanah

1. Perhitungan daerah perisaian atau lebar bayang-bayang listrik untuk SUTM menggunakan persamaan 2.1.
2. Menghitung tegangan puncak yang di akibatkan oleh tegangan induksi petir menggunakan persamaan 2.2.
3. Menentukan probabilitas arus gangguan sambaran petir tidak langsung menggunakan persamaan 2.3.



4. Menentukan jumlah lompatan api (*flashover*) akibat sambaran petir tidak langsung berdasarkan persamaan 2.4.
5. Perhitungan jumlah gangguan sambar petir yang terjadi karna sambar petir tidak langsung menggunakan persamaan 2.5.

### 3.6.2 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Tidak Langsung Pada SUTM Menggunakan Kawat Tanah

1. Perhitungan daerah perisaian atau lebar bayang-bayang listrik untuk SUTM menggunakan persamaan 2.1.
2. Menghitung tegangan puncak yang di akibatkan oleh tegangan induksi petir menggunakan persamaan 2.6.
3. Menentukan probabilitas arus gangguan sambaran petir tidak langsung menggunakan persamaan 2.7.
4. Menentukan faktor perisaian kawat tanah menggunakan persamaan 2.8.
5. Menentukan jumlah lompatan api (*flashover*) akibat sambaran petir tidak langsung berdasarkan persamaan 2.9.
6. Perhitungan jumlah gangguan sambar petir yang terjadi karna sambar petir tidak langsung menggunakan persamaan 2.10.

### 3.6.3 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Langsung Pada SUTM Tanpa Kawat Tanah

1. Menentukan besar arus kilat pada tempat sambaran menggunakan persamaan 2.11.
2. Menghitung besar tegangan yang timbul pada kawat menggunakan persamaan 2.12.
3. Menentukan probabilitas lompatan api dengan berdasarkan persamaan 2.13.
4. Menentukan jumlah gangguan petir yang terjadi karna sambaran petir langsung menggunakan persamaan 2.14.
5. Menghitung jumlah lompatan api (*flashover*) yang dapat menimbulkan api di hitung menggunakan persamaan 2.15.
6. Menentukan kemungkinan perpindahan lompatan api menuju busur api (*power arc* atau *power follow*) menggunakan persamaan 2.16.





### 3.6.4 Perhitungan Gangguan Akibat Sambaran Petir Langsung Pada SUTM Menggunakan Kawat Tanah

1. Saluran menggunakan kawat tanah untuk menghitung berapa tegangan puncak yang diakibatkan oleh sambaran langsung dari petir, terlebih dahulu hitung impedansi surja tiang ( $Z_t$ ) dan impedansi surja kawat tanah ( $Z_g$ ) menggunakan persamaan 2.17.
2. Menghitung impedansi surja kawat tanah dapat dihitung dengan persamaan 2.18.
3. Menentukan tegangan puncak pada tiang dapat di hitung menggunakan persamaan 2.19.
4. Menghitung besar arus minimum yang mengakibatkan lompatan api menggunakan persamaan 2.20.
5. Setelah menentukan besar arus minimal yang menimbulkan lompatan api balik (*black flashover*), tahap berikutnya menentukan kemungkinan terjadi lompatan api menggunakan persamaan 2.21.
6. Menentukan jumlah sambaran kilat pada saluran dengan persamaan 2.22.
7. Perhitungan jumlah gangguan karna sambar petir langsung terhadap kawat tanah berdasarkan persamaan 2.23.

### 3.6.5 Menentukan Sudut Lindung Kawat Tanah Menggunakan Metode *Rolling Sphere*

Metode *Rolling Sphere* difungsikan terhadap bangunan yang berbentuk rumit. Dengan metode tersebut seakan-akan terdapat bola pada radius  $R$  yang menggelinding di atas tanah, sekitar bangunan serta di atas bangunan ke seluruh arah sampai berjumpa dengan tanah bangunan yang memiliki kontak dengan permukaan bumi yang dapat bekerja selaku penghantar. Titik sentuh *Rolling Sphere* pada bangunan merupakan titik yang bisa di sambar petir serta pada titik ini wajib di lindungi oleh konduktor terminasi udara. Seluruh petir yang memiliki jarak  $R$  dari ujung penangkap petir hendak memiliki peluang sama buat menyambar bangunan. Metode *Rolling Sphere* terdiri dari parameter-parameter yakni jarak sambar, distribusi arus puncak, sudut lindung dan daerah lindung [7].

Sudut lindung kawat tanah bisa ditentukan dengan mendeskripsikan daerah lindung berdasarkan metode *Rolling Sphere*. Sudut lindung ialah sudut antara titik sentuh *Rolling Sphere* yang menyentuh kawat tanah dan bidang tanah [12]. Sudut lindung kawat tanah bisa dihitung menggunakan persamaan 2.24. Dalam menentukan sudut lindung kawat tanah dapat memvariasikan jarak sambaran petir pada saluran guna menentukan sudut lindung kawat



tanah berdasarkan variasi jarak sambar. Pada penelitian ini jarak sambar yang digunakan adalah 200 m, 300 m dan 400 m.

### 3.7 Perhitungan dan Analisis Penempatan Optimum *Lightning Arrester*

#### 1. Penentuan Tingkat Isolasi Dasar (TID)

Perancangan sistem proteksi trafo distribusi guna memilih posisi peralatan proteksi dari probabilitas akibat sambaran petir, tahap awal ialah menentukan tingkatan kemampuan isolasi impuls dasar. Tegangan tertinggi peralatan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.25.

#### 2. Menentukan Perkiraan Besar Tegangan Pengenal *Arrester*

Dalam menghitung jumlah tegangan pengenal *arrester*, mesti mengetahui tegangan tertinggi jaringan dan koefisien pentanahan, perhitungan jumlah tegangan pengenal *arrester* bisa dilakukan perhitungan secara kasar. Tegangan pengenal *arrester* tidak diperkenankan lebih kecil dari perhitungan tegangan tertinggi dari jaringan dan koefisien pentanahan. Menghitung tegangan secara tinggi ditambah 10%, setelah itu pada pentanahan non efektif dan pentanahan terionisasi koefisiennya adalah 100%. Untuk menentukan tegangan pengenal *arrester* menggunakan persamaan 2.26.

#### 3. Menentukan Arus Pelepasan Impuls *Arrester*

Dalam menghitung arus pelepasan impuls *arrester* saat melepas arus surja petir dapat menggunakan persamaan 2.27. Besar tegangan gelombang datang diperoleh dari *Flash Over Voltage* (FOV).

#### 4. Menentukan Tegangan Pelepasan *Arrester*

Arus pelepasan *arrester* ( $I_a$ ) serta kecuraman arus ( $di/dt$ ) yang datang ke peralatan bergantung pada tegangan pelepasan atau tegangan kerja. Tegangan pelepasan ini merupakan ciri yang sangat berarti pada *arrester* buat proteksi komponen. Tidak itu saja, tegangan kerja ini guna memastikan tingkatan proteksi *arrester* bila tegangan kerja *arrester* terletak TID peralatan yang diproteksi dengan aspek keamanan yang layak proteksi komponen yang optimal bisa tercapai.

#### 5. Faktor Perlindungan *Arrester*

Faktor perlindungan *lightning arrester* merupakan selisih tegangan TID peralatan yang di proteksi dengan Tingkat Perlindungan (TP) dari *arrester* pada tingkatan proteksi oleh *arrester*. Untuk menentukan faktor perlindungan dapat menggunakan persamaan 2.28.



## 6. Penempatan *Arrester* Menggunakan Metode Pengali *Lagrange*

Metode Pengali *Lagrange* memakai suatu metode dalam menuntaskan optimasi menggunakan kendala persamaan, inti dari metode Pengali *Lagrange* merupakan mengganti permasalahan titik ekstrim terkendala jadi permasalahan ekstrim bebas kendala. Berikutnya peranan yang dibentuk dari transformasi ini disebut fungsi *Lagrange* [15]. Dalam memperoleh proteksi trafo yang optimal, *arrester* diposisikan pada jarak tertentu (tidak boleh terlalu jauh maupun sangat dekat), pada prakteknya *arrester* mesti ditempatkan pada jarak tertentu, supaya proteksi dapat berlangsung optimal. Untuk menentukan penempatan *arrester* pada transformator dapat menggunakan persamaan 2.29.

### 3.8 Jadwal Penelitian

Berikut ini merupakan tabel jadwal penelitian tugas akhir yang peneliti lakukan :

Tabel 3.7 Jadwal Penelitian Tugas Akhir

Kegiatan	Februari 2021	Maret 2021	April 2021	Mei 2021	Juni 2021	Juli 2021	Agustus 2021
Pencarian judul dan studi pendahuluan (lapangan)	√						
Pengambilan data lapangan	√	√					
Penyusunan proposal tugas akhir/bimbingan	√	√					
Presentasi praseminar proposal			√				
Seminar Proposal			√				
Revisi Laporan			√	√	√	√	
Sidang Tugas Akhir							√





### 3.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan adalah rangkuman hasil penelitian dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Saran adalah usulan atau masukan yang bersifat membangun untuk dijadikan dasar pengembangan penelitian selanjutnya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal yaitu sebagai berikut :

1. Gangguan sambaran petir tidak langsung pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti menggunakan kawat tanah (*ground steel wire*) didapatkan  $W = 48.24$  m,  $V_t' = 143.29$  kV,  $P_{Io} = 0.62$ ,  $FP = 0.67$ ,  $N_{FL} = 87$  kali per 100 km per tahun,  $N_i = 43$  gangguan per 100 km per tahun. Kemudian untuk gangguan sambaran petir langsung pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti menggunakan kawat tanah didapatkan  $Z_g = 179.07$  ohm,  $V_t = 85.50$  kV,  $I_o = 20.13$  kA,  $P_{FL} = 0.55$ ,  $N_L = 72.36$  sambaran per 100 km per tahun,  $N_i = 19.9$  gangguan per 100 km per tahun.
2. Kemampuan *lightning arrester* dalam melindungi transformator distribusi didapatkan nilai TID  $V_{Max} = 22$  kV, tegangan pengenalan *lightning arrester*  $V_p = 22$  kV, arus pelepasan impuls *arrester*  $I_a = 1.246$  kA, tegangan pelepasan *arrester* = 87 kV dan faktor perlindungan *arrester*  $FP = 30.61$  %.
3. Sudut lindung optimum kawat tanah (*ground steel wire*) dalam melindungi kawat fasa pada SUTM 20 kV dengan metode *Rolling Sphere* didapatkan nilai sudut lindung kawat tanah (*ground steel wire*) dengan variasi jarak sambar 200 m  $\varphi = 70.05^\circ$ , jarak sambar 300 m  $\varphi = 73.73^\circ$ , jarak sambar 400 m  $\varphi = 75.93^\circ$ .
4. Penempatan optimal *lightning arrester* pada transformator distribusi menggunakan metode Pengali *Lagrange* didapatkan nilai jarak optimal melalui perhitungan dengan nilai jarak optimal *arrester* sebesar  $S = 5.7$  meter.

#### 5.2 Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan, ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk peneliti selanjutnya yaitu :

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk dapat melakukan simulasi menggunakan *software* ATP-EMTP agar dapat melihat kondisi jaringan listrik pada saat tersambar petir dengan tidak menggunakan proteksi berupa kawat tanah (*ground steel wire*) dan *lightning arrester* serta menggunakan proteksi, sehingga dapat melihat perbandingan



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

nilai kalkulasi menggunakan simulasi *software* ATP-EMTP dan kalkulasi perhitungan manual.

2. Pihak PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti agar dapat mengimplementasikan nilai sudut lindung optimal kawat tanah yang sudah penulis peroleh melalui perhitungan matematis serta nilai jarak optimal penempatan *lightning arrester* dalam melindungi komponen-komponen SUTM 20 kV pada saat tersambar petir langsung ataupun sambaran petir tidak langsung.







## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. Statistik, “Energi.” <https://www.bps.go.id/subject/7/energi.html#subjekViewTab3> (accessed Feb. 20, 2021).
- [2] F. A. Noor, H. Ananta, and S. Sunardiyo, “Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Daya Aktif pada Beban Listrik di Minimarket,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 66–73, 2017, doi: 10.15294/jte.v9i2.11358.
- [3] K. ESDM, *Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan*. 2009.
- [4] A. Y. D. Rachman and Fauzan, “Perencanaan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV Pada Komplek Perkebunan Agra Masang Perkasa (AMP) Bawang Lubuk Basung,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 1, no. 2, pp. 34–43, 2012.
- [5] Erhaneli and F. Febrian, “Perhitungan Kerapatan Sambaran Petir Pada SUTM 20 KV Berdasarkan Jenis Tiang (Aplikasi Feeder-1 GH Pangkalan Kabupaten Limapuluh Kota),” vol. 5, no. 2252, 2016.
- [6] K. A. D. Purwaka, “Studi Pemodelan Perambatan Gelombang Surja Petir Pada Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Metode Multi-Conductor Transmission Line,” pp. 1–7, 2010.
- [7] W. Bastaman, “Pengaruh perubahan sudut lindung kawat petir terhadap gangguan yang diakibatkan sambaran petir,” vol. 11, no. 2, 2016.
- [8] H. A. Sano and F. Murdiya, “Analisa Sistem Proteksi Petir Pada SUTT 150 kV Menggunakan Software ATP,” vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2018.
- [9] Y. P. Sudarmojo and M. T. Nip, “Studi Sistem Pengaman Saluran Distribusi Program Studi Teknik Elektro,” 2017.
- [10] I. Hajar and E. Rahman, “Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 168–179, 2018, doi: 10.33322/energi.v9i2.42.
- [11] Z. G. Datsios, P. N. Mikropoulos, and T. E. Tsovilis, “Estimation of the minimum shielding failure flashover current for first and subsequent lightning strokes to overhead transmission lines,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 113, pp. 141–150, 2014, doi: 10.1016/j.epsr.2014.03.008.



- [12] R. P. Luntungan *et al.*, “Analisa Daerah Lindung Dan Grounding Pada Tower Transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 3, pp. 199–206, 2018, doi: 10.35793/jtek.7.3.2018.20766.
- [13] P. Sarajcev, “Monte Carlo method for estimating backflashover rates on high voltage transmission lines,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 119, pp. 247–257, 2015, doi: 10.1016/j.epsr.2014.10.010.
- [14] W. A. Oktaviani and I. P. Hati, “Efektifitas Perlindungan Kawat Tanah Jaringan SUTM 20 kV Gardu Induk Boom Baru Palembang,” *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 85–89, 2019, doi: 10.33387/protk.v6i2.1234.
- [15] R. Nurhaidi and M. Rajagukguk, “Penentuan Letak Optimum Arrester Pada Gardu Induk (GI) 150 kV Siantan Menggunakan Metode Optimasi,” pp. 1–8, 2015.
- [16] Kementerian Agama Sumatera Barat, “Tentang Sumatera Barat.” <https://sumbar.kemenag.go.id/v2/tentang-sumatera-barat> (accessed Feb. 19, 2021).
- [17] S. Nugroho, “Analisis Iklim Ekstrem Untuk Deteksi Perubahan Iklim Di Sumatera Barat,” *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 17, no. 1, p. 7, 2019, doi: 10.14710/jil.17.1.7-14.
- [18] BMKG, “Peta Sambaran Petir Tahun 2020,” 2020. <https://www.bmkg.go.id/geofisika-potensial/peta-sambaran-petir.bmkg?p=peta-sambaran-petir-tahun-2020&lang=ID> (accessed Jan. 19, 2021).
- [19] B. P. S. S. Barat, “Produksi dan Konsumsi Listrik PLN di Provinsi Sumatera Barat (MWH).” Badan Pusat Statistik Sumatera Barat, Sumatera Barat, [Online]. Available: <https://sumbar.bps.go.id/statictable/2016/11/24/405/produksi-dan-konsumsi-listrik-pln-di-provinsi-sumatera-barat-mwh-2015.html>.
- [20] PT. PLN (Persero) UP3 Payakumbuh, *Dokumen PT. PLN (Persero) UP3 Payakumbuh*. Payakumbuh, 2020.
- [21] PT. PLN (Persero) UP3 Payakumbuh, “Data Gangguan PLN.pdf.”
- [22] I. N. Sunaya, “Analisis Pengaruh Pemasangan Kawat Tanah Terhadap Gangguan Surja Petir Pada Sistem Distribusi Analysis Effect of Using Ground Wire To Lightning Surge,” vol. 13, no. 2, pp. 121–127, 2013.
- [23] E. Syaifulloh, R. W.; Hamdani, “Analisa Pengaruh Sambaran Petir pada Jaringan Distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP - Pertamina Hulu Bandar Pedada Menggunakan Software ATP-EMTP,” vol. 4, no. 2, pp. 1–7, 2017.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



- [24] T. . Hutahuruk, “Perhitungan Gangguan Kilat pada Saluran Udara Tegangan Menengah,” *J. Math. Fundam. Sci.*, vol. 21, no. 1, pp. 21–47, 1988.
- [25] A. C. Marbun, “Studi Pemeliharaan Jaringan Distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah Terhadap Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang DN4 Di PT. PLN (Persero) ULP Medan Selatan,” Politeknik Negeri Medan, 2019.
- [26] R. Wibowo *et al.*, “Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik,” *PT. PLN*, pp. 3–4, 2010.
- [27] I. N. Shofyah, “Analisis Gangguan Penyulang Akibat Layang-layang Di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten Area Garut Rayon Garut Kota,” Universitas Indonesia, 2014.
- [28] S. Amri and K. Wahyuddin, “Analisis Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di PT. PLN Rayon Soppeng,” 2018.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## LAMPIRAN A

### Data PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti [21]

#### 1. Surat Izin Penelitian

**PLN**  
UIW SUMBAR  
UP3 PAYAKUMBUH

Nomor : 0178/STH.01.04/09030000/2021  
Lampiran : 1 Lembar  
Sifat : Segera  
Hal : Jawaban Permohonan Izin Penelitian dan Pengambilan Data a.n Gerry Al Ardi

29 Maret 2021

Kepada  
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Sesuai dengan surat No. Un.04/F/WPP.00.9/2074/2021 perihal Mohon Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir/Skripsi, pada prinsipnya PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Payakumbuh menyetujui permohonan tersebut di PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Payakumbuh sebanyak 1 orang mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau, dengan data sebagai berikut :

Nama	NIM/ Program Studi / Smt	Penempatan
Gerry Al Ardi	11655101143/ Teknik Elektro / X (Sepuluh)	KP Pangkalan - Kanja Muaro Paiti
Judul Tugas Akhir		
Analisis Sistem Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV Terhadap Suara Petir		

Adapun mahasiswa yang akan melakukan Penelitian dan Pengambilan Data agar dapat memahami peraturan yang berlaku, dapat menunjukkan hasil Rapid Antigen negatif, mengikuti aturan protokol kesehatan Covid-19 serta kami informasikan bahwa PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Payakumbuh tidak menyediakan fasilitas dalam bentuk apapun.

Demikian disampaikan, atas perhatiannya diucapkan terima kasih.

MANAGER UNIT PELAKSANA PELAYANAN PELANGGAN  
PAYAKUMBUH,

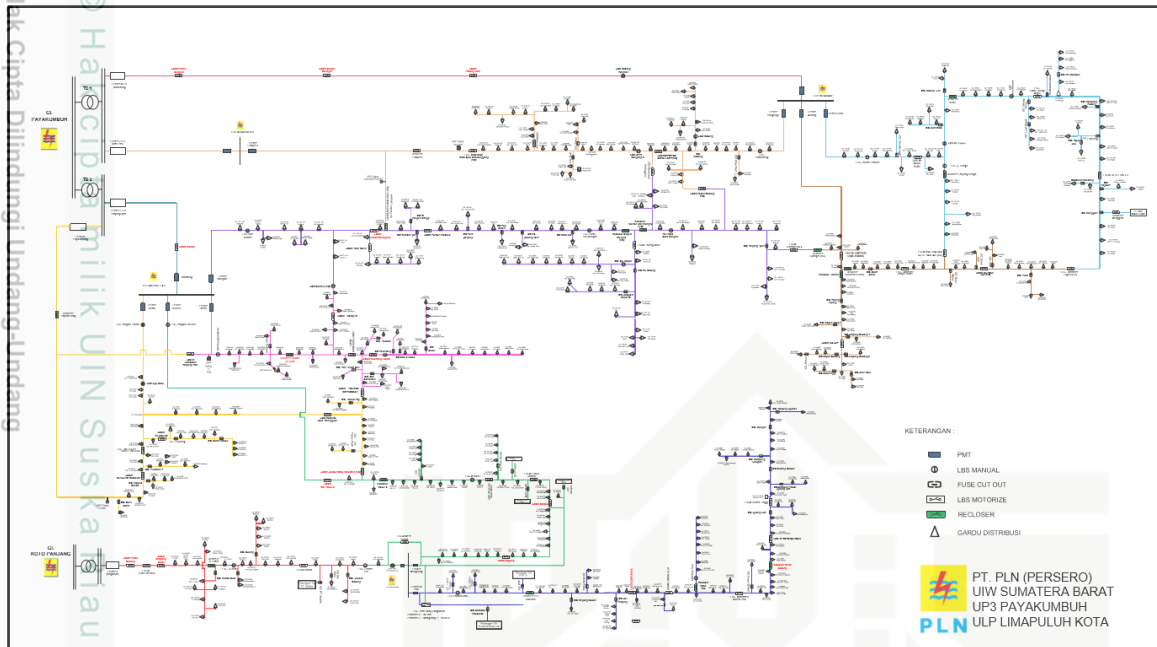
EDY SAPUTRA

Tembusan:  
- MUL ULP LIMA PULUH KOTA ULP LIMA PULUH KOTA

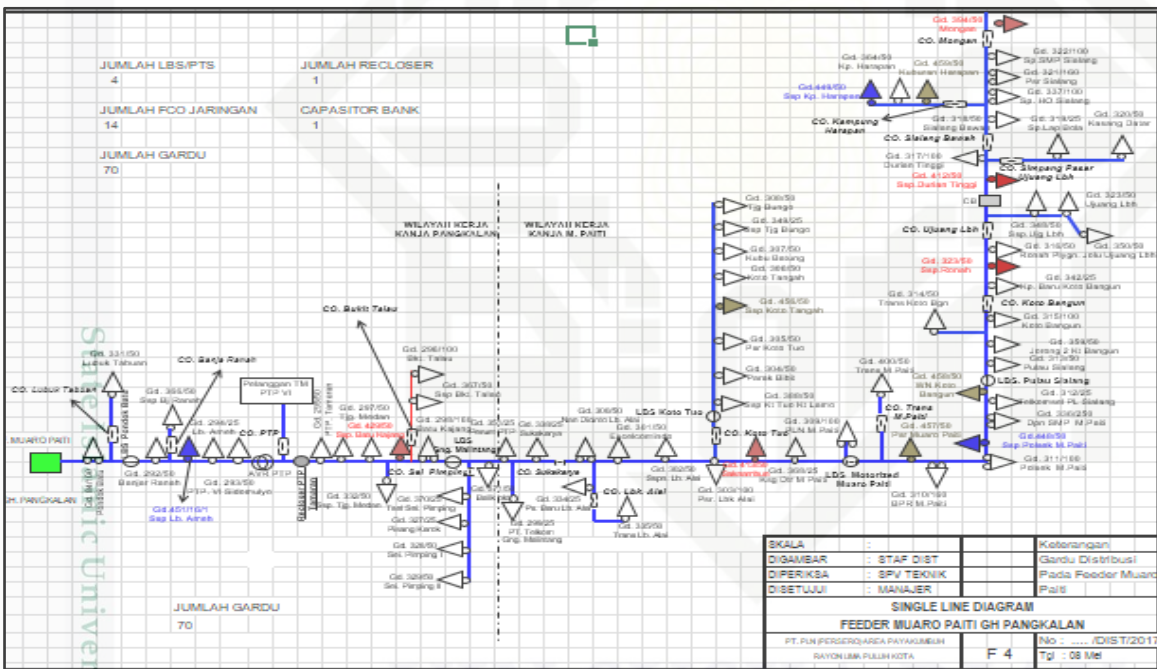
Jl. Prof. M. Yamin No. 52, Ed. Padang Tekar, Kec. Payakumbuh Timur  
Payakumbuh, Sumatera Barat 26232  
T | 0752 | 95250 W | www.pln.co.id

Fax | \_\_\_\_\_

The diagram shows a three-phase power system. On the left, a three-phase source is represented by three circles in a triangle, each with a voltage of 120 V. These are connected to three vertical lines representing the transmission lines. The lines are labeled with phase angles: 0°, 120°, and 240°. The lines are connected to a fault point, which is represented by a circle with a cross inside, labeled 'Fault'. The fault is connected to ground, which is represented by a horizontal line with a triangle pointing down to the ground symbol. The fault is located at a distance of 100 km from the source. The fault is a phase-to-ground fault, as indicated by the connection to ground. The fault is labeled 'Fault' and '100 km'.



Universitas Sultan Syarif Kasim



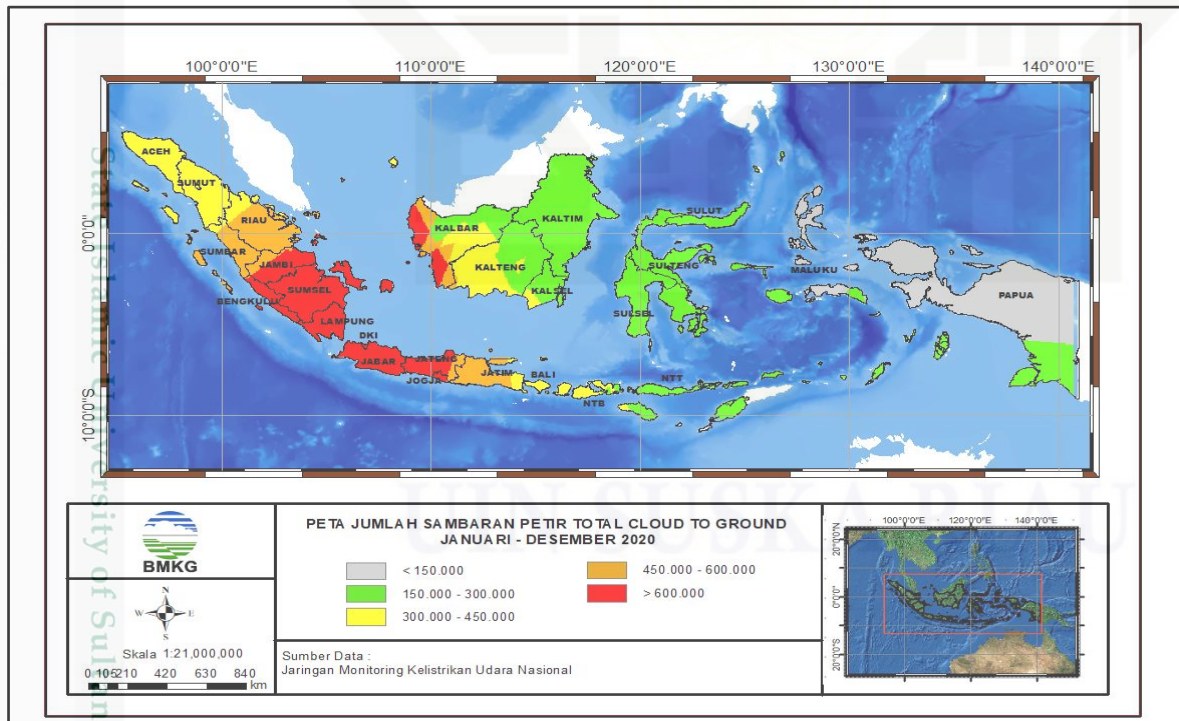
1. Dilarang mengutip sebagian atau

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



#### 4. Data Gangguan Petir

No	Bulan	Periode 2020
1	Januari	17
2	Februari	15
3	Maret	13
4	April	14
5	Mei	12
6	Juni	8
7	Juli	10
8	Agustus	13
9	September	15
10	Oktober	10
11	November	16
12	Desember	13
Jumlah		156
Rata-rata		13



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengacukan dan menyebutkan sumber:

Har Cipta Dilindungi Undang-Undang

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## 5. Data Panjang Saluran

Nama Penyulang	Panjang (Kms)	Konduktor		Beban Puncak (A)	Impedansi	Urutan positif dan Impedensi Urutan Nol (ohm / Km)
		Jenis	Penampang (mm <sup>2</sup> )			
Penyulang Muaro Paiti	25	A3CS	240	60	$Z_2 = Z_1$	0.01344 + j 0.3158
					$Z_o$	0.2824 + j 1.6034
Recloser	40	A3CS	240	44	$Z_2 = Z_1$	0.01344 + j 0.3158
					$Z_o$	0.2824 + j 1.6034

## 6. Spesifikasi Tiang SUTM 20 kV

Panjang (m)	Tinggi titik tumpu / batas tanam (m)	Diameter (cm)	Beban kerja (daN)
12	2.0	19	500

## 7. Spesifikasi Transformator

Kapasitas Terpasang	Tegangan Primer	Tegangan Sekunder
250kVA	20kV	220/380kV

## 8. Spesifikasi Kawat Tanah (Ground Steel Wire)

Spesifikasi	Jenis / Nilai
Jenis kawat tanah	BC
Tinggi rata-rata kawat fasa di atas tanah	8.9 meter
Tinggi kawat tanah di atas tanah	10 meter



Jarak vertikal kawat tanah dan kawat fasa	1.1 meter
Jarak antara kedua kawat fasa	3.6 meter
Diameter kawat tanah	50 mm <sup>2</sup>
Berat kawat tanah	0.447 kg/meter
Regangan mendatar kawat tanah	500 daN
Kedalaman tiang	2 meter
Lebar tiang	2 meter

## 9. Spesifikasi *Lightning Arrester*

Spesifikasi	Nilai
Tegangan pengenalan	24kV
Arus pelepasan nominal	5kA
Tegangan percik muka gelombang	100kV
Tegangan percik standar	87kV
Tegangan maksimal pada arus nominal	87kV

## 10. Suspension Isolator 20 kv Flash Over Akibat Terkena Petir



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## 11. Petugas mengganti Pin Flash Over

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



## 12. Pin Isolator 20 kv Flash Over Akibat Terkena Petir



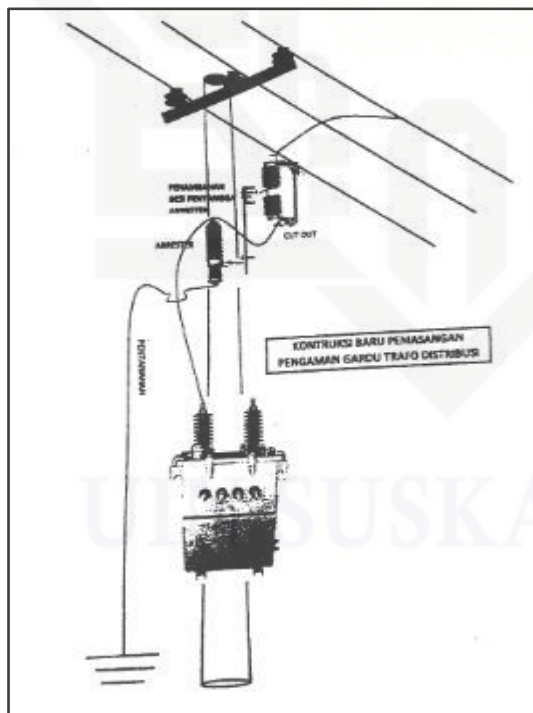
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



### 13. Gambar Tiang Menggunakan *Ground Steel Wire*

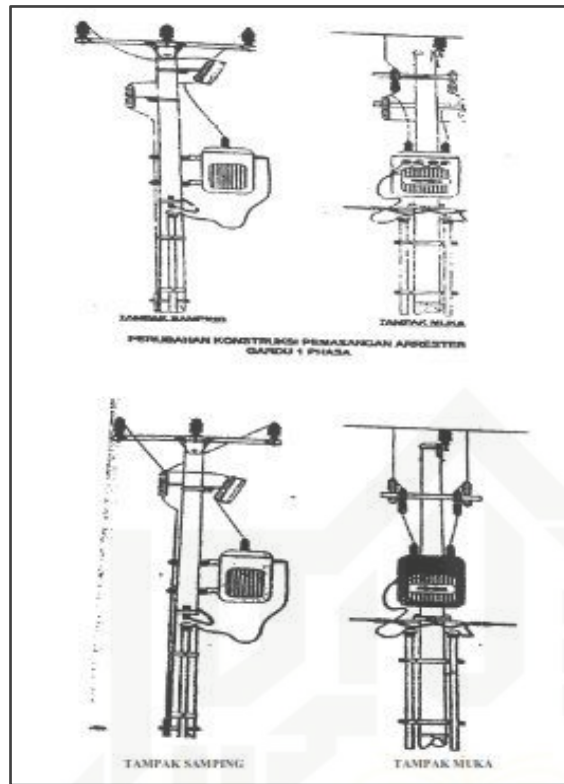


### 14. Gambar Kontruksi Pemasangan *Arrester Gardu Trafo 1 Fasa*



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



### 15. Data Koordinasi Isolasi Arrester Terhadap Peralatan

Tabel 1 Penetapan Tingkat Isolasi Transformator dan Penangkal Petir

Spesifikasi	Tegangan Nominal		
	150	66	20
	KV		
Tegangan tinggi untuk peralatan	170	72,5	24
Pentanahan	Efektif	Tahanan	Tahanan
<b>Transformator</b>			
Tegangan pengenalan (sisi Tegangan tinggi)	150	66	20
Tingkat Isolasi Dasar (TID)	650	325	125
<b>Penangkal Petir</b>			
Tegangan pengenalan	138	75	24
Arus pelepasan nominal	10 KA	10 KA	5 KA
Tegangan pelepasan	460	270	87
Tegangan percik denyut muka gelombang (MG)	530	310	100
Tegangan percik denyut standart	460	270	87
Kelas	10 KA	10 KA	5 KA

**Tabel 2 Maximum Residual Voltages (Tegangan Sisa Maksimum)**

Arrester rating (kV/ $\mu$ s)	10 KA Light and Heavy Heavy Duty and 5 KA Series A	5 KA series	2,5 KA
	kV peak		
0,175			2,2
0,28			2,5
0,5			3
0,66			5
3	13	18	1,3
4,5	17,5	24	17,5
6	22,6	31	22,6
7,5	27	39	27
9	13,5	40	13,5
10,5	38		38
12	43	54	43
15	54	64	54
18	65	73	65
21	76	83	76
24	87	91	87
27	97	99	87
30	108	107	108
33	119		119
36	130		130
39	141		
42	151		
51	184		
54	195		
60	216		
75	270		
84	302		
96	324		
102	343		
108	368		
120	400		
126	420		
138	460		
150	500		
174	570		

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





**Tabel 3 Maximum Rating Of These Arrester**

Arrester voltages rating	Maksimum dry or wet power frequency sparkover voltages	Virtual steepness of front of wave sparkover	Ampere Arrester		Max 100% 1,2/50 sparkover voltage	Max front of wave sparkover voltage	10000 and 5000 Ampere Arrester	2500 Ampere Arrester
			Max 100% 1,2/50 sparkover voltage	Max front of wave sparkover voltage				
			kV (peak)	kV (peak)				
kV (rms)	kV (rms)	Rate of rise in kV per micro second			kV (peak)	kV (peak)	kV (peak)	kV (peak)
3	1.5 times	30	13	15	13	15	13	13
4.5	the rated	37	17.5	20	17.5	20	17.5	17.5
6	voltages of	52	22.5	26	22.5	26	22.5	22.5
7.5	the arrester	62	28	31	28	31	28	28
9		76	32.5 (58)	38(62)	32.5	38	32.5	32.5
12		100	43(70)	50 (78)	43	50	43	43
15		124	54 (80)	62 (88)	54	62	54	54
18		150	65 (86)	75 (94)	65	75	65	65

21		176	76	88	76	88	76	76
24		200	87	100	87	100	87	87
27		224	97	112	97	112	97	97
30		250	108	125	108	125	108	108
33		274	119	137	119	137	119	119
36		300	130	150	130	150	130	130
					(See note 1)			
60		500	216	250	-	-	216	
75		620	270	310	-	-	270	
96		740	324	371	-	-	324	
102		790	343	394	-	-	343	
108		840	363	418	-	-	363	
120		930	400	463	-	-	400	
138		1030	454	522	-	-	454	
(see note)							(see note2)	
186		1170	610	702	-	-	610	
198		1200	649	746	-	-	649	
318		1200	1040	1200	-	-	1040	
336		1200	1100	1260	-	-	2100	

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Tabel 4 Standart Insulation Levels For  $1 \text{ kV} < U_m < 52 \text{ kV}$**

Highest Voltages for equipment $U_m$ (r.m.s)	Reted lightning withstand voltage (peak)		Rated Power- frequency short duration withstand voltage (r.m.s)
	List 1	List 2	
kV	kV	kV	Kv
3.6	20	40	10
7.2	40	60	20
12	60	75	28
17.5	75	95	38
24	95	125	50
36	145	170	70

**Tabel 5 FOV (*Flash Over Voltages*) Standart Disc**

NO of Discs	Dry FOV kV rms	Wet FOV kV Rms	Impuls FOV (Standard Full Waves KV Crest)
1	80	50	150
2	155	90	25
3	215	130	355
4	270	170	440
5	325	215	525
6	380	255	610
7	435	295	695
8	485	335	780
9	540	337	860
10	590	415	945
11	640	455	1025
12	690	490	1105
13	735	525	1185
14	785	565	1265
15	830	600	1345
16	875	630	1425
18	965	690	1585
19	1010	720	1555
20	1055	750	1745
25	1280	900	2145
30	1505	1050	2550

**Tabel 6 Karakteristik Arrestor**

Pengenal Arrestor (kV)	Kecuraman Gelombang (kV/ $\mu$ s)	10 kA dan 5 kA		5 kA	
		STD (kV)	FW (kV)	STD (kV)	FW (kV)
3	25	13	15	13	15
4,5	37	17,5	20	17,5	20
6	50	22,6	26	22,6	26
7,5	62	28	31	28	31
9	76	32,5	38	32,5	38
12	100	43	50	43	50
15	125	54	62	54	62
18	150	65	75	65	75
21	250	76	88	76	88
24	500	87	100	87	100
27	750	97	112	97	112
30	1000	108	125	108	125
33	1250	119	137	119	137
36	1500	130	150	130	150

STD = Tegangan erisikan impuls maksimum

FW = Tegangan perisikan impuls muka gelombang

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



**Gerry Al Ardi**, lahir di Duri pada tanggal 13 Maret 1997 merupakan anak pertama buah hati dari pasangan Alif Ardhi dan Rani yang beralamat di Jl Pahlawan Km 4.5 Gg Bougenville Blok B No 42, Desa Balai Makam, Kecamatan Bathin Solapan, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau.

Email : gerryalardi45@gmail.com

No Hp : 0822-5005-5756

Pengalaman pendidikan yang pernah ditempuh penulis mulai dari pendidikan SDS Muhammadiyah Duri pada tahun 2003 dan lulus pada tahun 2009. Penulis melanjutkan pendidikan SMPN 01 Mandau tahun 2009 sampai 2012. Kemudian melanjutkan pendidikan SMAN 2 Mandau pada tahun 2012 sampai 2015. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan kuliah di perguruan tinggi Universitas Islam Sultan Syarif Kasim Riau dengan mengambil Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Energi dengan penelitian Tugas Akhir berjudul “Analisis Sistem Proteksi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV Terhadap Sambaran Petir (Studi Kasus : PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota Penyulang Muaro Paiti)”

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.